UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA,
ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS

**ESTRATEGIAS NUTRICIONALES Y DE
MANEJO PARA MEJORAR LOS
RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS EN
POLLITAS RUBIAS PARA PUESTA**

TESIS DOCTORAL

Julio Carlos García González
INGENIERO AGRÓNOMO

2020

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA,
ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN AGRARIA

**ESTRATEGIAS NUTRICIONALES Y DE
MANEJO PARA MEJORAR LOS
RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS EN
POLLITAS RUBIAS PARA PUESTA**

TESIS DOCTORAL

Julio Carlos García González
INGENIERO AGRÓNOMO

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Gonzalo González Mateos

2020

A mi familia

“La familia es la brújula que nos guía. Es la inspiración para para conseguir grandes metas, y nuestro consuelo cuando ocasionalmente fallamos.”

Brad Henry

“La familia no es algo importante. Lo es todo.”

Michael J. Fox

AGRADECIMIENTOS.

A mi Director de Tesis, Dr. Gonzalo González Mateos, al cual admiro profundamente, por darme la oportunidad de realizar esta tesis junto con su grupo, por todo lo que me ha enseñado durante este tiempo, y por mostrarme una nueva forma de enfocar el trabajo.

A mi mujer Mila, que es mi amor, mi estrella y mi guía, y a mis hijos Alejandro, Paula y Álvaro, porque lo son todo para mí.

Al resto de mi Gran Familia, especialmente a mis padres Carmen y Felipe, por el esfuerzo que durante toda vuestra vida habéis realizado para sacarnos adelante y darnos la mejor educación, y que nunca os lo agradeceré suficientemente. Por la educación recibida durante toda mi vida, por inculcarme la cultura del esfuerzo y que todo sacrificio tiene su recompensa, por estar siempre ahí, ayudándome y apoyándome en todo, pensado antes en nosotros que en vosotros mismos. ¡¡Muchas gracias por todo!!

A mi hermano Tito por su apoyo incondicional siempre y en todo.

También especialmente a mis abuelos Julio y Trini que sé que estarán orgullosos y que desde que era pequeño nos transmitieron el valor de la educación y el trabajo, grabando a fuego la frase que decía mi tatarabuelo Juan Francisco “La mejor herencia que puede dejarse a un hijo es una buena educación y formación”.

Y a mi familia política, a mis primos, y tíos que siempre han creído y creen en mí.

A mi Empresa, CAMAR Agroalimentaria, que me ha permitido realizar esta tesis, y en especial a Cipriano Lorenzo al que siempre agradeceré todo lo que ha supuesto para mí trabajar para él.

A mi compañero y responsable directo Medín de Vega por su ayuda siempre, por todos estos años de trabajo juntos, ¡¡y por haber sido mi maestro en esto de las gallinas...!!

A Jorge Herrera, gran amigo y compañero en mi periplo profesional.

A Emilio Rocco por su ayuda en la tesis.

Y a todos mis compañeros de la Familia CAMAR que siempre formarán parte de todo esto....

Al Departamento de Producción Animal de la Universidad Politécnica de Madrid, y a los compañeros y becarios que habéis colaborado en las pruebas que componen esta tesis.

A los miembros del tribunal, por aceptar formar parte de él.

A todos vosotros, muchas gracias

Julio C. García González

INDICE DE CONTENIDOS

ABREVIATURAS	1
RESUMEN	3
I. INTRODUCCIÓN	12
1.1.- Importancia del peso del huevo incubable sobre el peso vivo de la pollita al nacer y la uniformidad del lote	26
1.2.- Importancia del peso vivo y uniformidad de la pollita	31
1.2.1 Correlación entre peso vivo de la pollita y los resultados productivos	32
1.2.2. Uniformidad.	35
1.3.- Situaciones de estrés durante la recría	37
1.4.- Utilización de fuentes de fibra	38
1.5.- Inclusión de ácidos orgánicos y otros aditivos	44
1.6.- Corte de picos	48
1.6.1.- Necesidad del corte de picos	49
1.6.2.- Legislación actual en la Unión Europea	51
1.6.3.- Importancia del tipo de corte de picos sobre la productividad	52
1.7.- Nutrición e integridad del tracto Gastrointestinal.	55
II. OBJETIVOS	58
2.1.- Objetivos generales	59
2.2.- Objetivos específicos	60
2.2.1 Experimento 1, ensayo 1: Influencia del corte del pico y del peso inicial de huevo sobre los rendimientos productivos y el desarrollo del tracto digestivo de pollitas rubias	60

2.2.2 Experimento 1, ensayo 2: Influencia del peso inicial del huevo y de la inclusión de butirato de sodio, sobre los rendimientos productivos y el desarrollo del tracto digestivo de pollitas rubias	61
2.2.3 Experimento 2, ensayo 3: Influencia del peso del huevo y de la inclusión de cascarilla de avena en el pienso sobre el desarrollo del tracto digestivo y el rendimiento productivo de pollitas rubias desde el nacimiento a las 16 semanas de vida criadas en condiciones de estrés durante los primeros estadios de vida	62
III. MATERIAL Y MÉTODOS	63
3.1.- Diseño experimental	64
3.1.1.- Experimento1, ensayo 1	64
3.1.1.1.- Manejo, dietas y diseño experimental	64
3.1.1.2.- Mediciones y controles experimentales	66
3.1.1.3.- Análisis de laboratorio	68
3.1.1.4.- Análisis estadístico	71
3.1.2.- Experimento 1, ensayo 2	72
3.1.2.1.- Manejo, dietas y diseño experimental	72
3.1.2.2.- Mediciones y controles experimentales	73
3.1.2.3.- Análisis de laboratorio	74
3.1.2.4.- Análisis estadístico	74
3.1.3.- Experimento 2, Ensayo 3	74
3.1.3.1.- Manejo, dietas y diseño experimental	75
3.1.3.2.- Mediciones y controles experimentales	77
3.1.3.3.- Análisis de laboratorio	78
3.1.3.4.- Análisis estadístico	82
IV. RESULTADOS	83
4.1.- Experimento 1, ensayo 1	84

4.1.1.- Rendimientos productivos	84
4.1.2.- Desarrollo del tracto gastrointestinal y medidas corporales	87
4.1.3.- Conteo bacteriano a nivel de ciegos	87
4.2.- Experimento 1, ensayo 2	92
4.2.1.- Rendimientos productivos	92
4.2.2.- Concentración de ácidos grasos volátiles en buche e íleon	97
4.3.- Experimento 2, ensayo 3	98
4.3.1.- Efecto del estrés sobre la productividad de las pollitas	101
4.3.2.- Rendimientos productivos	104
4.3.2.1.- Efecto del peso del huevo preincubación	104
4.3.2.2.- Efecto de la inclusión de fibra	106
4.3.3.- Desarrollo del tracto gastrointestinal y medidas corporales	106
4.3.3.1.- Efecto del peso del huevo preincubación	106
4.3.3.2.- Efecto de la inclusión de fibra	111
V. DISCUSIÓN	112
5.1.- Datos productivos	113
5.1.1.- Peso del huevo preincubación y peso inicial de pollita.	113
5.1.2.- Influencia del corte de picos	116
5.1.3.- Influencia del uso del Butirato de sodio protegido	118
5.1.4.- Efectos de las condiciones de estrés en el crecimiento de las pollitas	118
5.1.5.- Influencia de la inclusión de fibra insoluble en la dieta.	120
5.2.- Características del tracto gastrointestinal y medidas corporales	122
5.2.1.- Peso del huevo preincubación y del peso inicial de pollita.	122
5.2.2.- Corte de picos	124
5.2.3.- Inclusión de fibra insoluble	124
5.3.- Conteo bacteriano a nivel de ciegos	125
5.4.- Ácidos grasos volátiles en el contenido de buche e íleon	126
5.4.1.- Corte de picos y del PV inicial de la pollita	126

5.4.2.- Inclusión de Butirato de Na	126
5.5.- Discusión general	127
5.5.1.- Experimento 1	127
5.5.2.- Experimento 2	128
VI. CONCLUSIONES	129
VII. IMPLICACIONES	132
VIII. REFERENCIAS	134

INDICE DE TABLAS

INTRODUCCIÓN

Tabla 1 – Sistemas alternativos de producción de huevos en la Unión Europea	17
Tabla 2 – Sistemas alternativos de producción de huevos. España. Evolución histórica	18

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Tabla 3 – Calidad de la cáscara y contaminación del huevo	30
Tabla 4 – Correlación entre el peso de las pollitas y resultados en puesta	33
Tabla 5 – Efecto del corte de picos sobre la producción	54

I. OBJETIVOS

II. MATERIAL Y METODOS

Tabla 6 – Composición y análisis físico-químico de las dietas experimentales. Experimento 1, ensayos 1 y 2	70
Tabla 7 – Análisis físico-químico de la cascarilla de avena	80
Tabla 8 – Composición y análisis químico de las dietas experimentales	81

III. RESULTADOS

Tabla 9 – Influencia del peso inicial y el tipo de corte de picos sobre el rendimiento productivo de las pollitas	85
Tabla 10 – Influencia del peso vivo y del tipo de corte de picos sobre los resultados productivos y la uniformidad de PV de las pollitas. Experimento1, Ensayo 1	86

Tabla 11 – Influencia del peso vivo inicial y el tipo de corte de picos sobre el peso relativo y el contenido de digesta fresca del tracto gastrointestinal. Experimento 1 Ensayo 1	88
Tabla 12 – Influencia del peso vivo inicial y el tipo de corte de picos sobre el pH del buche, molleja, íleon y ciegos a 5, 10 y 15 semanas de vida. Experimento 1, Ensayo 1	89
Tabla 13 – Influencia del PV inicial y el tipo de corte de picos en la longitud del ciego, intestino delgado y tarso de las pollitas. Experimento1, Ensayo 1	90
Tabla 14 – Influencia del Peso vivo al nacimiento y el tipo de corte de picos sobre el recuento de bacterias (log10 UFC/g) en la excreta de pollitas a las 5 semanas de edad. Experimento 1, Ensayo 1	91
Tabla 15 – Influencia del peso vivo al nacimiento, tipo de corte de picos y de la inclusión de butirato de sodio en el pienso sobre la productividad de las pollitas de 0 a 6 semanas de edad. Experimento1, Ensayo 2	93
Tabla 16 – Influencia del peso vivo al nacimiento, tipo de corte de picos e inclusión de Na-butirato en el pienso sobre la productividad y la uniformidad del peso de las pollitas de 0 a 6 semanas de edad. Experimento 1, Ensayo 2	94
Tabla 17 – Influencia de peso vivo al nacimiento, tipo de corte de picos y de la inclusión de Butirato-Na en el pienso sobre la producción de ácidos grasos volátiles en buche e íleon de las pollitas a las 6 semanas de edad. Experimento 1, Ensayo 2	97
Tabla 18 – Análisis químico y propiedades físico-químicas de la cascarilla de avena	99
Tabla 19 – Composición y análisis físico-químico de los piensos experimentales. Experimento 2 Ensayo 3	100
Tabla 20 – Influencia del peso del huevo preincubación y de la inclusión de cascarilla de avena en el pienso sobre el peso vivo y la uniformidad de las pollitas de 5, 10 y 16 semanas de vida	101
Tabla 21 – Influencia del peso del huevo preincubación y de la inclusión de cascarilla de avena en el pienso sobre el rendimiento productivo de las pollitas de 0 a 16 semanas de edad.	102
Tabla 22 – Influencia del peso del huevo preincubación y la inclusión de cascarilla de avena sobre el consumo de pienso de las pollitas previo y posterior al corte de picos a los 18 días de edad	103

Tabla 23 – Influencia de peso del huevo preincubación y la inclusión de cascarilla de avena en el pienso sobre el consumo medio energético diario y el índice de conversión energética de las pollitas de 0 a 16 semanas de edad	105
Tabla 24 – Influencia del peso del huevo preincubación e inclusión de cascarilla de avena en el pienso sobre el peso del tracto gastrointestinal y la longitud del tarso	107
Tabla 25 – Influencia del peso del huevo preincubación y de la inclusión de cascarilla de avena en el pienso sobre el peso y el pH del Buche	108
Tabla 26 – Influencia del peso del huevo preincubación y de la inclusión de cascarilla de avena en el pienso sobre el desarrollo de la molleja	109
Tabla 27 – Influencia del peso del huevo preincubación y de la inclusión de cascarilla de avena en el pienso sobre la longitud y el desarrollo de íleon y ciego	110

INDICE DE FIGURAS

INTRODUCCIÓN

Figura 1 – Evolución del censo de ponedoras, España	14
Figura 2 – Explotaciones de ponedoras, España	15
Figura 3 – Exportaciones de huevo, España.	20
Figura 4 – Evolución del consumo de huevos (Unidades/per cápita), España.	21

I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Figura 5 – Influencia del peso del huevo sobre el peso de las pollitas al nacimiento menor de 32 g.	28
Figura 6 – Influencia del peso del huevo incubable sobre el peso vivo de la pollita al nacer	28
Figura 7 – Influencia de la edad de la reproductora sobre la incidencia de huevos contaminados inmediatamente después del nacimiento	29
Figura 8 – Influencia de la edad de la reproductora sobre la calidad de la cáscara	30

II. OBJETIVOS

III. MATERIAL Y METODOS

IV. RESULTADOS

Figura 9 – Interacción entre tipo de corte de picos sobre la productividad de las pollitas. Experimento 1 Ensayo 2	95
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

ABREVIATURAS / ABBREVIATIONS

Español	Abreviatura/ Abbreviation	Inglés
Ácidos Grasos Volátiles	AGV	Volatile Fatty Acids
Cascarilla de Avena	CA	Oat Husk
Coefficiente de Variación	CV	Coefficient of Variation
Consumo Energético Medio Diario	CMDE	Daily Energy Intake Consumption
Consumo Medio Diario	CMD	Average Daily Feed Intake
Consumo Medio Energetico	CME	Average Energy Consumption
Corte de Picos por Infrarrojos Incubadora	CPIR	Infrared Debeaking Treatment
Diámetro Geométrico Medio	DGM	Geometric Mean Diameter
Energía Metabolizable Aparente	EMAn	Apparent Metabolizable Energy
Error Estándar de la Media	EEM	Standard Error of the Mean
Experimento	EXP	Experiment
Fibra Ácido Detergente	FAD	Acid Detergent Fibre
Fibra Ácido Detergente	FAD	Acid Detergent Fiber
Fibra Bruta	FB	Crude Fibre
Fibra Neutro Detergente	FND	Neutral Detergent Fiber
Ganancia de Peso Vivo	GPV	Body Weight Gain
Ganancia Media Diaria	GMD	Average Daily Gain
Índice de Conversión	IC	Feed Conversion Ratio
Índice de Conversión Energética	ICE	Energy Conversion Ratio
Intestino Delgado	ID	Small Intestine
Lignina Ácido Detergente	LAD	Acid Detergent Lignin
Longitud relativa	LR	Relative Length
Materia Seca	MS	Dry Matter

Peso relativo	PR	Relative Weight
Peso del huevo	PH	Egg Weight
Peso Vivo	PV	Body Weight
Probabilidad	<i>P</i>	Probability
Proteína Cruda	PB	Crude Protein
Tracto Gastro Intestinal	TGI	Gastro Intestinal Tract
Unión Europea 28	UE	European Union 28
Unidades Formadoras de Colonias	UFC	Colony Forming Units

RESUMEN

RESUMEN

La presente tesis doctoral consta de dos experimentos (EXP) y tres ensayos en total que conforman la investigación.

En el EXP. 1 se estudió la influencia del corte de picos de las futuras ponedoras (*ensayo 1*) y la inclusión de butirato de sodio en los piensos (*ensayo 2*) sobre el rendimiento productivo y el desarrollo del tracto gastrointestinal (TGI) en pollitas procedentes de reproductores jóvenes clasificadas en función del peso corporal al nacimiento.

En el EXP. 2 (*ensayo 3*) se estudió la influencia del peso del huevo previo a la incubación, y la inclusión de 3% de fibra insoluble (CA) en los piensos experimentales sobre el rendimiento productivo y el desarrollo del TGI en pollitas recriadas bajo severas condiciones de estrés durante el período inicial de la fase de recría.

Resumen general

En el **ensayo uno del EXP. 1** se estudiaron los efectos del procedimiento utilizado en el corte de picos, sobre los rendimientos productivos, la uniformidad y el desarrollo del TGI de pollitas destinadas a la producción de huevos comerciales. Se diseñó un experimento en base al PV inicial de la pollita en incubadora. Se utilizaron 6 tratamientos organizados en forma factorial con dos PV de las pollitas: ligero (33,9 g) y pesado (37,6 g) y tres procedimientos para el corte de picos: infrarrojo “suave” (MI-0), infrarrojo “agresivo” (AG-0) y tradicional con cuchilla incandescente a los 8 d de edad (HB-8) realizado en granja, como efectos principales.

El PV inicial de las aves no afectó el crecimiento, ni a las características anatómo-fisiológicas del TGI a ninguna edad. El tipo de corte de picos afectó al consumo medio diario (CMD) ($P < 0.01$) y a la ganancia media diaria (GMD) ($P < 0.05$) a las 5 sem de edad, con valores inferiores en aquellas pollitas en las que se les realizó corte de picos tradicional (HB-8), que en las pollitas tratadas con infrarrojos (MI-0 y AG-0). Sin embargo, no se detectó efecto alguno del tratamiento experimental a partir de esa edad. El tipo de corte de picos no afectó al CMD, la uniformidad de los PV, las características del TGI ó al conteo bacteriano a nivel de ciego a ninguna edad.

En el **ensayo dos EXP. 1** se estudió el efecto de la inclusión de butirato de sodio en el pienso sobre la productividad y las características del TGI en pollitas que sufrieron una serie de estreses durante la fase de recría. Las situaciones de estrés aplicadas consistieron en utilizar pollitas con bajo PV y corte picos con criterios más o menos agresivos. Además de su efecto sobre el crecimiento, se estudió los posibles efectos beneficiosos del uso de butirato de sodio sobre el desarrollo del TGI. Para ello se utilizaron 12 tratamientos organizados en un factorial $2 \times 3 \times 2$ con el peso inicial de las pollitas (ligero, 33,9 g vs. pesado, 37,6 g), el tipo de corte de picos (infrarrojo leve (MI-0), infrarrojo agresivo (AG-0) y corte tradicional con cuchilla incandescente a los 8 días de edad (HB-8)) y nivel de butirato de sodio (0 vs 0,3%), como efectos principales.

La inclusión de butirato de Na en el pienso tendió a mejorar la GMD ($P = 0.073$) y los índices de conversión (IC) ($P = 0.069$) de 0 a 6 sem de edad pero la uniformidad de los PV no se vio afectada. La mayoría de los efectos beneficiosos de la inclusión de butirato de sodio en el pienso sobre los resultados productivos tuvieron lugar durante las dos primeras semanas de vida.

En el **ensayo tres Exp. 2** se estudió la influencia del peso del huevo pre-eclosión y la inclusión de cascarilla de avena en el pienso, sobre el desarrollo del TGI y el rendimiento productivo de 0 a 16 sem de edad de pollitas criadas bajo severas condiciones de estrés en los primeros estadíos de vida. Se utilizaron 14 tratamientos experimentales organizados como un factorial 7×2 , con 7 pesos de huevo (rango de 47,0 a 53,9 g con diferencia de un gramo entre grupos y dos niveles de inclusión (0 vs. 3%) de CA en el pienso.

Al inicio de su vida las pollitas fueron sometidas a una serie de situaciones de estrés, incluyendo viaje prolongado, acceso limitado al pienso y agua a su llegada a la granja, baja intensidad de luz durante la primera semana de vida, temperatura ambiente reducida durante el período nocturno y corte de picos con cuchilla incandescente a los 18 d de edad.

El CMD, la GMD y los IC se midieron por período (0 a 5, 5 a 10 y 10 a 16 sem de edad) y de forma acumulada (0 a 16 sem). El diseño fue completamente aleatorio y los datos se analizaron con la inclusión de CA y PH como efectos principales. Además, el efecto del PH sobre las distintas variables estudiadas, se dividió en componentes lineales y cuadráticos.

La mortalidad global del ensayo fue del 2,7% y no estuvo relacionada con el tratamiento experimental. La mayor parte de la misma (2,5%) tuvo lugar durante la primera semana de vida. No se detectaron interacciones entre el PH en el momento de la eclosión y la inclusión de CA en el pienso sobre el rendimiento productivo a ninguna edad. Por ello, solo se presentan los efectos principales.

Las condiciones de estrés aplicadas a las pollitas durante los primeros días de vida, junto con el corte del pico a los 18 d de edad, tuvieron efectos negativos considerables en el rendimiento de las pollitas durante toda la prueba, aunque los

efectos disminuyeron con la edad del ave. El corte del pico a los 18 d de vida mediante cuchilla incandescente redujo ($P < 0,001$) el CMD de las aves. A este respecto, la reducción media en el consumo observada entre los 3 días posteriores al mismo (18 a 21 d de edad) y los 3 días anteriores (15 a 18 d de edad) al corte de picos fue de un 46.5% (12.3 vs. 23.0 g/d). El tratamiento de corte picos en las pollitas durante la fase inicial de la recría supone un estrés importante para las aves con un efecto que es más significativo cuanto mayor es la edad del ave.

Huevos de reproductores jóvenes con un peso superior a los 47 g ($PV > 32.5$ g de las pollitas al nacimiento) producen pollitas comerciales con un potencial de crecimiento posterior similar a pollitas procedentes de huevos de mayor peso que producen pollitas más pesadas (35.8 g PV en la eclosión), siempre que las pollitas sean clasificadas de forma conveniente en la incubadora y que las prácticas de manejo posteriores en los primeros días de vida sean las adecuadas.

Las pollitas alimentadas con un 3% de CA mostraron un mayor desarrollo de la molleja, pero la longitud relativa (LR) similar del Intestino delgado (ID), el ciego y el tarso que las pollitas alimentadas con el pienso de control. La inclusión de CA incrementó el peso relativo (PR) de la molleja a todas las edades ($P < 0.01$). A las 16 sem de edad el rendimiento productivo de las pollitas criadas bajo condiciones de estrés a edades tempranas, no se vio afectado por el PV inicial de las aves ni por la inclusión en el pienso de un 3% de CA. Los datos sugieren que el rendimiento productivo de un lote de pollitas procedentes de huevos con un rango de PH dentro de 47 y 54 g, podría depender más de la uniformidad de PV, obtenida por la clasificación inicial del huevo (o edad de las reproductoras), que del PV de las aves.

En conclusión, los datos de la presente tesis doctoral permiten concluir que el corte de picos de las pollitas durante la fase inicial del período de cría causa un estrés importante a las aves con efectos que son mayores cuanto mayor es la edad del ave. Sin embargo, el corte de picos en incubadora con infrarrojo es menos agresivo que el realizado en granja con cuchilla incandescente en edades más avanzadas y permite una mejor recuperación de las pollitas, con mejoras rápidas de ganancia de peso corporal y del consumo diario de pienso. Además los huevos provenientes de reproductoras jóvenes con pesos de huevo de más de 47 g preincubación pueden producir pollitas comerciales con un potencial de crecimiento similar al de las pollitas que provienen de huevos más pesados y por tanto con mayor peso a la eclosión (35,8 g), siempre que las aves sean clasificadas según su peso vivo al nacimiento y alojados en las naves bajo las condiciones de manejo adecuadas a la llegada a la granja.

Finalmente, la inclusión de butirato de sodio en la dieta mejoró el rendimiento del crecimiento en las aves jóvenes, con efectos más pronunciados durante las dos primeras semanas de edad. La inclusión de fibra insoluble mejoró el desarrollo de la molleja, pero no afectó a la ganancia de peso de las aves a ninguna edad.

Palabras clave: Características del tracto gastrointestinal, corte picos con cuchilla incandescente, corte picos con infrarrojo, peso del huevo pre-eclosión, crecimiento de pollitas, butirato de sodio, condiciones de estrés.

SUMMARY

The Thesis is formed by 3 experiments (EXP) presented in two research manuscripts. In the first manuscript (EXP. 1 and 2) we studied the influence of beak trimming and the inclusion of sodium-butyrate in the diet on growth performance and the development of the GIT of brown-egg pullets differing in initial BW but selected from a single young breeder flock. In the second manuscript (EXP. 3), we studied the influence of the weight of the pre-hatch egg (EW) and the inclusion of 3% oat hulls (OH) in the diet, on growth performance and the development of the GIT in pullets reared under very stressful conditions early in life.

In EXP. 1, we studied the effects of the procedure used for beak trimming on productive performance, pullet uniformity and the development of the GIT in birds destined to the production of commercial eggs. A total of 6 treatments were organized as a 2×3 factorial with 2 BW at hatch (light, 33.9 g and heavy, 37.6 g) and 3 beak trimming protocols [mild (MI-0) or aggressive (AG-0) infrared power setting at hatch and traditional hot-blade at 8 d of age (HB-8)] as main effects. Initial BW did not affect growth performance or GIT traits at any age. From hatch to 5 wk of age, HB-8 pullets had lower ADFI ($P < 0.01$) and ADG ($P < 0.05$) than MI-0 and AG-0 pullets but no differences were detected after this age. Beak trimming did not affect FCR, BW uniformity, GIT traits, or bacteria count in the excreta at any age. In EXP. 2, we studied the effects of BW weight at hatch and the beak treatment protocol in pullets fed a control diet or a diet that included Na-butyrate. A total of 12 treatments were organized as a $2 \times 3 \times 2$ factorial, with 2 BW at hatch, 3 beak trimming protocol (as per in trial 1), and 2 levels of a sodium-butyrate additive (0 vs. 0.3%) as main effects. At 7 d of life, beak trimming reduced pullet growth and AG-0 procedure impaired pullet uniformity ($P < 0.001$), but the birds recovered completely by d 14 ($P < 0.001$ for the interaction with

time). Cumulatively (0 to 6 wk of age), pullets beak trimmed at hatch (MI-0 and AG-0) had greater ADFI than HB-8 pullets ($P < 0.01$). Sodium-butyrate tended to improve ADG ($P = 0.073$) and FCR ($P = 0.069$) with most of the benefits observed for the first 2 wk of life. Neither the initial BW of the birds nor the beak trimming procedure affected final pullet growth in any of the two experiments, or any GIT traits in EXP. 1. Sodium-butyrate tended to improve growth and FCR from 0 to 6 wk of age, but did not affect BW uniformity.

In EXP. 3, we studied the influence of the pre-hatch weight of the eggs and the inclusion of OH in the diet on the productive performance and the development of the GIT in pullets from hatch to 16 wk of age, in pullets reared early in life under very high stressful conditions. The 14 treatments were organized as a 7×2 factorial with 7 EW groups (47.0 to 54.0 g differing in one gram between groups) and two inclusion levels of OH in the diet (0 vs. 3%). The pullets were reared under a series of stresses early in life (no access to feed for extended time post-hatching, reduced accessibility to feed and water at arrival to the farm, reduced ambient temperature at night, low light intensity, and hot-blade beak trimming at 18 d of age). Feed intake, BW gain, and FCR were measured by period (0 to 5, 5 to 10, and 10 to 16 wk of age) and cumulatively. Data were analyzed as a completely randomized design with EW and OH inclusion as main effects. In addition, EW effect was partitioned into linear and quadratic components. An increase in EW increased BW at hatch and at 5 wk of age linearly ($P < 0.05$) but no effects were detected thereafter. Oat hulls inclusion increased ADFI and impaired FCR ($P < 0.05$) from 0 to 5 wk of age but did not affect energy efficiency at any age. At 5 wk of age, the relative weight (% BW) of the GIT decreased linearly ($P < 0.05$) with increases in EW and increased with OH inclusion ($P < 0.05$). Oat hulls inclusion increased the relative weight of the gizzard at all ages ($P < 0.01$). The stress

conditions applied to the pullets early in life affected similarly the growth and GIT development of chicks from eggs weighing between 47.0 and 53.9 g. Independent of the initial BW of the pullets, OH inclusion improved gizzard development at all ages without showing any effect on growth performance.

In conclusion, data of the present PhD thesis allows to conclude that beak trimming of the pullets during the initial phase of the rearing period causes an important stress to the bird, with effects that are greater in older birds. However, beak trimming at hatch, which is less aggressive than hot blade trimming at older ages, allows a better recovery of the bird, with quick improvements in BW gain and FCR. Also, eggs laid by young breeders with a weight of over 47 g (> 32.5 g pullets at hatch) can produce commercial pullets with a growth potential similar to that of pullets from heavier eggs, weighing over 35.8 g at hatch, provided that the birds are classified by BW at hatch, and housed under adequate management conditions after arrival.

Finally, the inclusion of Na-butyrate in the diet improved growth performance of the young birds, with effects that were more pronounced for the first 2 wk of age. The inclusion of insoluble fiber improved gizzard development but did not affect BW gain of the birds at any age

Key words: gastrointestinal tract trait, hot-blade trimming, infrared beak trimming, pre-hatch egg weight, pullet growth, sodium butyrate, stress conditions

I. INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

El sector del huevo

El sector español del huevo está formado por 1.416 granjas registradas con un censo total en torno a los 48 millones de gallinas (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2018). Previo a la entrada en vigor de la normativa de bienestar del año 2012 (Real Decreto 3/2002) el sector se caracterizaba por su gran estabilidad, en valores cercanos a los 50 millones de gallinas durante casi 10 años (Figura 1). El sector representa el 2,12% de la Producción Final Agraria de España, mientras que dentro de las producciones ganaderas, representa el 6,1% de la Producción Final Ganadera (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2018). En general está formado por pequeñas y medianas empresas familiares, ubicadas en el medio rural de toda España, que contribuyen a su desarrollo económico con una actividad estable. Es un sector muy moderno que ha realizado importantes inversiones en tecnología y equipamientos. La estructura de las granjas de puesta españolas es de granjas unidas a un centro de clasificación y embalaje que recoge, clasifica y envasa los huevos, y los distribuye a las tiendas. Esta cadena tan corta favorece de modo muy importante la trazabilidad total, la frescura, y la calidad del huevo, ayudando a optimizar los costes. Otra peculiaridad del sector de puesta español, es que frecuentemente las granjas disponen de fábrica de piensos propia. Son fábricas simples, con costos de producción reducidos y que normalmente fabrican todos los piensos en forma de harina.

El sector avícola de puesta es un sector ganadero que sufrió una fuerte reconversión, con motivo de la entrada en vigor de la normativa de bienestar en el año

2012 (Real Decreto 3/2002), que obligó a realojar el parque de ponedoras en jaulas en baterías convencionales a otro tipo de sistemas de alojamiento (jaulas acondicionadas, alojamiento en suelo o campero). El sector se polarizó en dos modelos productivos: a) grandes explotaciones industriales y b) pequeñas explotaciones dedicadas principalmente a los sistemas de cría alternativos (ecológico y campero). Reflejo de estos cambios en la estructura productiva es que en el momento actual el 60% de la producción de huevos está concentrado en 7 empresas, que tienen el 45% del censo de gallinas ponedoras de España (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2018).

Figura 1: Evolución del censo de ponedoras. España.

Adaptada de datos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2018)

** Miles de aves.

El año 2012 fue por tanto un año de gran trascendencia en el sector, ya que provocó la desaparición de muchas explotaciones, y una caída marcada del censo de

aves (Figura 1) en ese año. En los años posteriores esta caída del censo se ha ido corrigiendo, con valores actuales cercanos a los censos máximos logrados en el año 2008 (Figura 1).

Por CCAA, destaca Castilla la Mancha con el 26,2% del censo total, seguido de Castilla y León con el 17% y Cataluña con el 10,9%, seguidas de Comunidad Valenciana y Andalucía.

Como se ha indicado anteriormente, el número de explotaciones que se dedican a la producción de huevos en España alcanzaron las 1.416 en enero de 2018 (Figura 2), el mayor número de explotaciones registradas desde el año 2013 (año en el que se registró el menor número de los últimos 10 años) posterior a la gran reconversión del sector. El número actual de explotaciones se sitúa prácticamente al mismo nivel previo a la adaptación de las explotaciones a la normativa de bienestar del año 2012. Sin embargo, está lejos de los números de finales de siglo, en los que casi se llegó a alcanzar cerca de las 1.800 explotaciones de producción.

Figura 2: Explotaciones de ponedoras, España

Adaptada de datos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2018)

** Número de explotaciones registradas REGA.

La producción de huevos en jaulas convencionales fue prohibida en la Unión Europea en 2012, quedando permitida la producción en jaulas acondicionadas y los sistemas llamados alternativos de cría en suelo con y sin acceso al campo (Real Decreto 3/2002). A partir de ese año se observó una clara tendencia en todos los países europeos a aumentar el uso de las naves con acceso al suelo de las aves. Estos nuevos sistemas tienen 3 objetivos principales: a) satisfacer las demandas sociales (seguridad alimentaria, bienestar de las aves y sostenibilidad), b) maximizar la producción de huevos mientras se manteniendo el costo de producción bajo control y c) producir huevos de calidad tanto física como microbiológica durante todo el ciclo de puesta. La prohibición del uso de jaulas convencionales, y de la muda de las aves así como el corte de picos, junto con la implementación de los nuevos sistemas, han cambiado el comportamiento de las aves (Büttow et al. 2009) y, por tanto es necesario cambiar los sistemas de manejo de los lotes. Bajo estas nuevas condiciones, las gallinas se sienten atraídas por otras actividades además de comer y beber, con efectos sobre el comportamiento, el consumo de alimento y la uniformidad del lote (Hester, 2017). Además, y cada vez con mayor importancia, la restricción del uso de algunos productos farmacéuticos compromete el control de parásitos y diversas enfermedades bacterianas (Pattison et al. 2008). Como consecuencia, las estrategias para maximizar la producción de huevos son hoy día un desafío para los nutricionistas y técnicos avícolas.

Las demandas de los consumidores y sobre todo la presión de las cadenas de distribución de los supermercados están cambiando rápidamente los sistemas para la producción de huevos. A este respecto las jaulas enriquecidas no son consideradas por muchos consumidores como una buena alternativa para mejorar los estándares

de bienestar animal en los países desarrollados (Van Niekerk et al. 1999). En consecuencia, la industria está moviendo a las gallinas de las jaulas en baterías a sistemas alternativos, con cría fuera de las jaulas, con o sin acceso a un área al aire libre. Además, la producción orgánica o biológica está ganando popularidad. En 2018, el porcentaje de gallinas criadas en estos sistemas en los países productores más importantes de la Unión Europea (UE-28) se muestra en la Tabla 1 (Comisión Europea, 2019).

Tabla 1 – Sistemas alternativos de producción de huevos en la Unión Europea

Country	Gallinas		Jaulas ¹ (%)	Suelo (%)	Camperas (%)	Biológicas (%)
	× 10 ⁶	% del total				
Alemania	53.5	12.8	6.5	62	19.5	12.0
Italia	50.0	12.0	54.7	38.1	3.3	4.0
Polonia	48.5	11.6	84.5	11.2	3.6	0.7
R. Unido	46.6	11.2	35.2	5.2	56.9	2.7
Francia	46.5	11.2	60.8	8.0	21.3	9.9
España	43.6	10.4	82.3	9.4	7.4	0.9
Total	417	100	50.4	28.5	15.7	5.4

² Enriquecida (750 cm²/ave)

Comisión Europea, 2019

¹ Antes del año 2018

Es de destacar el creciente interés por los sistemas de producción biológicos y camperos en el norte de Europa en comparación con el porcentaje relativamente alto de gallinas en jaula en Europa oriental y meridional. Los datos históricos sobre los sistemas de producción en España, un país clave en la producción de huevos en Europa, se muestran en la Tabla 2. De 2016 a 2018, el porcentaje de gallinas enjauladas disminuyó de 92.9% a 82.3%. Se espera una mayor tasa de cambio para los próximos 2-3 años.

Tabla 2 – Sistemas alternativos de producción de huevos. España. Evolución histórica

	2016	2017	2018	Tendencia ¹
Jaulas enriquecidas, %	92.9	88.0	82.3	↓↓
Suelo ² , %	2.4	6.0	9.4	↑↑
Campero, %	4.0	5.0	7.4	↑
Biológico, %	0.6	1.0	1.0	↑

¹ Se espera menos del 40% en jaulas para el 2025

Comisión Europea, 2019

² Principalmente tipo aviario.

La producción de huevos en sistemas alternativos requiere mejorar los conocimientos y aumentar la experiencia en el comportamiento y el manejo de las aves. En naves con gallinas en jaulas, los granjeros se limitan en la práctica a labores de vigilancia y control mientras que en los sistemas alternativos donde las gallinas están sueltas y deciden que hacen, es necesario una mayor implicación del granjero en el manejo y control de su comportamiento, más parecido a la labor de un pastor que a un cuidador y por tanto, más especializada y formada. La nutrición es, después del manejo, el factor principal a controlar la producción moderna de huevos (Ruhnke, 2015). Las áreas de mejora en la práctica a considerar incluyen a) maximizar la ingesta de alimento, especialmente en gallinas de bajo peso con salida libre al exterior y por tanto expuestas al medio ambiente y altas actividades físicas, b) aumentar la uniformidad de peso vivo del lote para reducir la necesidad de márgenes de seguridad en la formulación del alimento, c) reducir la incidencia del picaje de plumas y canibalismo para mejorar la productividad y el bienestar animal y d) producir huevos de alta calidad de tamaño adecuado durante los primeros meses y buena calidad de la cáscara durante los últimos meses del ciclo de puesta (van Krimpen et al. , 2005; Ruhnke, 2015; Lohmann, 2018; van Emous y van Krimpen, 2019; Kaukunen y Valros, 2019; Iqbal et al., 2019).

La evolución de los sistemas de comercialización del huevo del sector avícola de puesta ha sido muy importante y rápida. A principios de los años 90, España era un

importador neto de huevo, con exportaciones de huevos a Europa reducidas y discontinuas. A finales de la década de los años 90, se desarrollan las posibilidades de exportación a la Unión Europea, principalmente a Francia y a Alemania, pasando de ser un país importador, a exportador neto (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2018). Estas exportaciones a la Unión Europea se siguen desarrollando y afianzando, con claras mejoras durante los últimos 20 años, reafirmando al sector como uno de los líderes en la exportación y comercialización de huevos europeo. Un nuevo cambio se ha producido recientemente con la apertura de nuevos mercados extracomunitarios, realizándose grandes exportaciones de huevos en cáscara a mercados no tradicionales, tales como Israel, África, Oriente Medio, Asia, etc. En este sentido en los últimos 10 años España exportó entre un 15 y un 20% de los huevos de mesa que produce (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2018). Por ejemplo, las exportaciones de enero a diciembre de 2016 alcanzaron un valor de 74 millones de euros, de los que el 56 % corresponden al mercado comunitario (con Francia, Países Bajos, Italia y Portugal como principales destinos) (Figura 3). Dentro de los países terceros, los mayores importadores de huevos españoles en 2018 fueron sido Israel, Mauritania y Hong Kong (2018, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) (Figura 3).

Dentro del comercio exterior de huevos en cáscara las provincias más activas son Valladolid, Toledo, Huesca, Cuenca y Guadalajara. La situación sanitaria en España y la competitividad de nuestros costos han sido importantes impulsores de este crecimiento.

El comercio exterior español está cada día más orientado a los mercados de países terceros, como muestra el gráfico de la evolución de las exportaciones en volumen a la UE y a países no UE. Esta evolución del mercado de la exportación ha

permitido mantener los niveles de producción y de gallinas alojadas en las granjas españolas, con nivel de autoabastecimiento del 106,5% en el 2018 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2018).

Figura 3: Exportaciones totales de huevo. España

Adaptada de datos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2018)

** Toneladas equivalentes huevo cáscara.

En el año 2016, el consumo de huevos per cápita fue de 254 huevos pasando a 267 huevos (17 Kg per cápita) en el 2018 (Figura 4). El consumo en los hogares fue de 136, (un 53% del total) repartiéndose el resto en la industria alimentaria y la restauración. La figura 4 muestra la evolución del consumo en España en huevos equivalente cáscara por habitante y año.

Figura 4: Evolución del consumo de huevos (Unidades/per cápita), España.

Adaptada de datos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2018)

** Equivalente Unidades huevo cáscara.

Recría de pollitas: parte primordial en la producción de huevos

El presente trabajo pretende ahondar en el conocimiento del manejo y la alimentación en la fase de recría de futuras ponedoras comerciales y su influencia sobre la productividad posterior de las aves. El planteamiento inicial viene motivado por la necesidad de obtener información sobre este período crítico en base a pruebas experimentales fiables sobre el manejo y la alimentación de las aves durante los períodos de cría y recría. De hecho los estudios y experimentos realizados en esta etapa de la vida de las futuras ponedoras son muy escasos con la mayoría de los datos publicados de los últimos 15 años procedentes de empresas comerciales. A considerar, que este período de recría es crucial para la obtención de buenos resultados en fase de producción (Isa Brown, 2018. Novogen 2018)

Durante esta fase de preparación, cualquier problema o estrés que incida sobre el desarrollo de las aves tal como el corte de picos, temperaturas inadecuadas, falta de agua, corrientes de aire, falta de ventilación o pobre acceso a los comederos, va a afectar al desarrollo fisiológico posterior del lote. De hecho, un manejo inapropiado repercutirá negativamente sobre la producción y, por tanto, sobre la rentabilidad final del lote de ponedoras (Kekeocha, 2004). Un desarrollo correcto del período de cría permite optimizar la puesta ya que es en esta fase cuando las aves se preparan para el largo período productivo que les espera. En este período se busca no solo una buena persistencia posterior de la puesta, sino lograr también una calidad óptima del huevo, lo que permitirá su comercialización, en base a su calidad, como huevo de categoría superior (Bell et al , 2002).

Existe una creencia generalizada, muy arraigada entre los productores de huevos, de que pollitas pequeñas en el momento de la recepción en granja, darán lugar a aves adultas más pequeñas y por tanto con una menor capacidad de producción que sus hermanas de mayor peso vivo igual o superior al estándar marcado por la casa de genética. Este punto es de gran trascendencia económica para la incubadora ya que el peso condiciona el porcentaje de huevos que se incuban. (Parkhurst et al. 1988)

Al nacer todas las pollitas de un mismo lote tienen el mismo potencial genético y por tanto, diferencias en su desarrollo corporal podrán depender más del manejo desde el momento de su nacimiento que a su peso inicial. En este trabajo estudiamos la importancia relativa de ambos factores, estudiando el efecto de diversos factores estresantes, sobre el desarrollo corporal de aves de distinto peso, pero con manejo similar, mantenidas en réplicas de distinto peso, pero uniformidad similar. La hipótesis de estas pruebas fue que si el lote de las pollitas es homogéneo (p.ej., no mezclando huevos producidos por reproductoras de distintas edades, y por tanto evitando

desuniformizar el lote) su respuesta ante el estrés no variará en relación con lotes con mayor peso, pero de uniformidad similar.

Otro punto de importancia creciente en granjas de ponedoras, en especial en gallinas explotadas en suelo, es el mantenimiento de una buena salud gastrointestinal. El productor de huevos necesita disponer de las herramientas necesarias para responder de forma adecuada ante cualquier situación desfavorable o estresante para las aves, tal como el corte de picos, recepción en granja de pollitas con bajo peso corporal, u otras situaciones desfavorables que comprometen el futuro productivo de la ponedora. Por ello la presente tesis ahonda en el estudio del efecto de ciertas situaciones estresantes, comunes en granjas comerciales, que afectan los resultados productivos comprometiendo la rentabilidad del lote. A este particular, dos situaciones a considerar son:

- a) Posibilidad que la pollita no fuera pequeña al nacimiento, sino que, por diversas circunstancias haya perdido peso desde la nacedora hasta su emplazamiento en la granja. A este particular, destacar la importancia de la ventana de nacimiento, evitando que las pollitas que nacen temprano permanezcan períodos de tiempo excesivos en las nacedoras, reduciendo su peso a la llegada a granja, debido a la deshidratación, lo que afectará a su desarrollo posterior. Los medios y las vías de transporte han evolucionado en los últimos años, lo que permite viajes más largos. Es bastante común hoy día siendo muy común que se sirvan pollitas en España de países como Gran Bretaña, Holanda. Ello conlleva un mayor tiempo de transporte y por tanto mayor posibilidad de problemas por estrés y deshidratación, con lo que esas pollitas más pequeñas arrancarían peor, provocando desuniformidad del lote.

b) Importancia de la uniformidad de las pollitas a un día de edad, sobre todo su disminución de peso posterior. Si la pollita es pequeña no por proceder de reproductores jóvenes, sino por haber sufrido deshidratación y estrés en el transporte o por manejo inadecuado, el problema es difícil de solucionar. Las pollitas más afectadas arrancarán más tarde que las que menos hayan sufrido, aumentando la desigualdad y comprometiendo el rendimiento productivo del lote. Bajo estas circunstancias solo podemos mitigar los efectos negativos mejorando el manejo de las aves los días posteriores a la recepción. A este particular se precisará disponer de un buen control de temperatura (día y noche), aportar agua y pienso suficiente durante los primeros días para fomentar el arranque de las pollitas más pequeñas, triar lo necesario para unificar el peso de las aves dentro del lote (jaula) y otras prácticas de manejo (Bell et al, 2002)

Por tanto se considera que pollitas de reproductoras jóvenes, bien manejadas en incubadora y con una uniformidad de sus pesos adecuada a su llegada a granja, darán lugar a gallinas con una capacidad de puesta similar a la de aves de mayor peso inicial. Para ello, es muy importante que el manejo de las aves en la incubadora y transporte sea adecuado y que las pollitas arranquen a comer de forma uniforme y de inmediato. Así mismo, se precisa evitar cualquier estrés que afecte a los animales. (Parkhurst et al. 1988). Por tanto, pollitas pequeñas uniformes desde el día de vida, manejadas de forma adecuada durante toda la recría pueden ser utilizables bajo condiciones comerciales.

La fase de cría-recría de las futuras ponedoras comerciales, productoras de huevo para consumo, abarca desde la llegada de las pollitas inmediatamente después del nacimiento hasta su llegada a la nave de puesta, momento que coincide normalmente con la madurez sexual (16-18 semanas de vida) (Lohmann. 2018).

En esta fase de la vida de la pollita se distinguen tres períodos:

- Arranque (desde el nacimiento hasta las 6 sem de edad)
- Cría (7 a 13 sem de edad)
- Recría (de 13 a 18 sem de edad)

Durante esta fase se debe poner énfasis en prepararlas para su fase posterior de puesta (toda una inversión de futuro). En concreto, para que la gallina exprese su potencial genético, maximizando así la producción de huevos, debemos conseguir un desarrollo anatómico-fisiológico adecuado durante la fase de recría en base a:

- Lograr una madurez sexual correcta (Parkhurst et al. 1988)
- Cumplir los objetivos marcados por la casa de genética en relación con la edad, peso, conformación y uniformidad del lote. Un desarrollo adecuado permite iniciar el estímulo lumínico y alcanzar la madurez sexual de las aves sin tener que retrasar el lote con las pérdidas económicas que ello supone. Se espera que las futuras ponedoras alcancen a las 21 semanas de edad un PV de 1.700 g y un 50% de índice de puesta, con uniformidad de PV superior al 80% (Lohmann. 2018. Isa Brown 2018).
- Utilizar un programa de manejo y alimentación que permita:
 - Conocimiento de los programas de vacunación aplicados y del estado sanitario e inmunitario del lote.

- Instalaciones (comederos y bebederos) adecuados en tipo, número y manejo de los animales (p. ej. Limpieza diseño, etc...).
- Un buen desarrollo de la capacidad de ingestión del ave previo al inicio de puesta, cuando las necesidades del ave para su crecimiento, desarrollo y puesta aumentan de forma exponencial.
- Programa de piensos formulados y fabricados correctamente, que se adapten a las necesidades del ave para cada fase.

El manejo de las pollitas durante recría, y en especial durante los primeros días de vida afecta los parámetros productivos de la pollita al final de esta etapa y a la producción global del ave (Kekeocha, 2004), incluyendo el peso, índice de conversión alimenticia, el índice de puesta y la mortalidad. Todo ello va a influir sobre la productividad del ave y a definir el costo del kilo de huevos, y la eficiencia alimenticia por docena de huevos. Por ello, es importante el estudiar todos aquellos factores que influyen en el desarrollo de las aves en este período crítico (Sapcota et al. 2017).

1.1.- Importancia del peso del huevo incubable sobre el peso vivo de la pollita al nacer y la uniformidad del lote

Las pollitas cuando nacen poseen el mismo código genético, y por tanto la misma capacidad de crecimiento y de producción, son los factores externos los que alteran esta capacidad de genética e impiden su máxima expresión. El peso del huevo viene condicionado por múltiples factores que afectan a la reproductora (edad, PV de la reproductora, alimentación, etc) (Hester, 2017) pero su capacidad genética de producción es la misma para todos los huevos producidos por esos mismos reproductores. Por ello es importante el manejo de las aves durante su fase de recría,

pues se altera su capacidad de producción si las condiciones de la misma no han sido las adecuadas.

Huevos de tamaño reducido (< 48 g), situación normal en el inicio del ciclo productivo de las reproductoras, el porcentaje de pollitas con PV inferior a 32g al nacimiento se dispara. A priori se consideraba por parte del productor que la viabilidad de estas pollitas era inferior al de un lote normal con más peso. Actualmente el granjero piensa que pollitas pequeñas a su llegada a la granja tendrían menor crecimiento y viabilidad y por tanto peores parámetros productivos al inicio de la puesta que sus hermanas de mayor peso. Este concepto tan arraigado en la mente del granjero, precisa de aclaración. En primer lugar no es lo mismo que la pollita sea pequeña por provenir de huevos de gallinas reproductoras jóvenes que por haber sufrido mal manejo en la incubadora (nacimientos prolongados) o durante el transporte produciendo deshidratación de las aves (Sapcota et al. 2017). Además las pollitas provenientes de reproductoras jóvenes tienen ciertas ventajas como un mejor estado inmunitario inicial (inmunidad traspasada a la pollita vía inmunidad maternal) (Juul-Madsen et al. 2017) o procedencia de huevos con mejor calidad de cáscara, que proporcionan una mayor protección al embrión frente a infecciones externas durante el almacenaje y el período de incubación. Por tanto, las pollitas tendrán mayores defensas contra infecciones (Fellah et al. 2017) reduciendo la importancia del peso inicial del huevo de las aves jóvenes.

Debido a posibles problemas comerciales, es importante decidir y poner un límite al peso mínimo de los huevos a incubar procedentes de aves reproductoras jóvenes. A nivel comercial se considera que huevos de 52 g dan lugar a pollitas con un PV superior a 32 g (Figura 5 y 6). Dado su importancia económica es importante conoce

se esté peso aceptado por la industria cumple con la realidad o podría ser excesivo para el caso de pollitas recriadas en buenas condiciones de manejo.

Figura 5. Influencia del peso del huevo sobre el peso de las pollitas al nacimiento menor de 32 g

Sacristán y del Campo 2014

Figura 6. Influencia del peso del huevo incubable sobre el peso vivo de la pollita al nacer.

Sacristán y del Campo 2014

Influencia de la edad de la reproductora sobre la calidad del huevo y de la pollita.

Con la edad de la reproductora el grosos de la cáscara y la calidad de la misma disminuye (Figura 8), con una menor resistencia a la rotura y una reducción de la gravedad específica una medida indirecta de calidad de cáscara. Una pérdida de calidad de la cáscara implica una mayor facilidad de penetración al interior del huevo de los diferentes microorganismos patógenos presentes en la incubadora a través de la cáscara (Berrang M. 1992), con el consiguiente incremento del nivel de contaminación (Figura 7) (Sacristán *et al.*, 2014). Por tanto, la calidad de las pollitas provenientes **de lotes de reproductoras jóvenes puede ser conveniente** para el productor, siempre que estas pollitas sean manejadas de forma adecuada durante los primeros estadíos de vida.

Figura 7. Influencia de la edad de la reproductora sobre la incidencia de huevos contaminados inmediatamente después del nacimiento

Sacristán y del Campo 2014

Figura 8. Influencia de la edad de la reproductora sobre la calidad de la cáscara.

Sacristán y del Campo 2014

Tabla 3. Calidad de la cáscara y contaminación del huevo

Gravedad específica del huevo	Calidad de la cascara	> 30 min	> 60 min	> 24 horas
1,070	pobre	34%	41%	54%
1,080	media	18%	25%	27%
1,090	buena	11%	16%	21%

J. Mauldin. Poultry Science Department – The University of Georgia

Una ventaja adicional a favor del uso de huevos provenientes de reproductoras resulta de la mejora de la inmunidad maternal que es capaz de transmitir la reproductora a su descendencia. La inmunidad maternal nos indica el grado de protección de la pollita recién nacida frente a desafíos tempranos. (Juul-Madsen et al. 2017)

La inmunidad pasiva se valora con relación al nivel de anticuerpos provenientes de la madre detectados en la pollita de un día. Por tanto, el nivel de anticuerpos presentes en la pollita de un día depende del nivel de ese mismo tipo de anticuerpos presentes en la reproductora (Härtle et al. 2017). Las reproductoras se vacunan frente a diversas enfermedades (p. ej. Bronquitis infecciosa, Newcastle, Gumboro, etc) (Schijns et al., 2017), normalmente durante el periodo de recría. El nivel de anticuerpos o nivel de respuesta contra cada una de estas enfermedades, es máximo en las primeras etapas del período de recría y se reduce con la edad del ave, en el caso que no se produzcan infecciones indeseadas a nivel de campo, o que se realicen revacunaciones durante el periodo de puesta (Smith et al, 2017). Por tanto, desde el punto de vista inmunitario y de protección de la pollita en el momento de su recepción en grupo, puede ser interesante el uso de huevos provenientes de reproductoras jóvenes (*Sacristán, 2014*).

En base a las particularidades indicadas, y teniendo en cuenta que la información genética que afecta a la productividad de las futuras ponedoras es idéntica e independiente de su PV inicial, el uso de huevos de reproductoras jóvenes presenta ventajas sanitarias de importancia sin menoscabo aparente de su futura productividad. Los productores de huevos no deben descartar el uso de estas pollitas más pequeñas, simplemente por “tener la sensación “de que crezcan menos, ya que no necesariamente van a dar lugar a gallinas con una menor eficiencia productiva.

1.2.- Importancia del peso vivo y uniformidad de la pollita

El PV adecuado a cualquier edad, pero con mayor importancia a las 5 sem de vida, es un requerimiento fundamental para lograr una máxima producción en el pico de puesta y mantener la persistencia de la curva de producción a lo largo del ciclo de

puesta (Hester, 2017). Debido a los avances en la selección genética, hoy día se logran aves que con menor PV presentan capacidad de producción, y mejores picos de puesta. Sin embargo, la menor voracidad de las aves de peso escaso complica alcanzar las metas de peso corporal exigidos a cualquier edad. Errores en el manejo tales como la falta de espacio por exceso de densidad y sobre todo por la menor disponibilidad lineal de comederos y del número de bebederos, dan lugar a menudo a lotes de aves con un menor PV y uniformidad de lo esperado para lograr buenas producciones. A este particular destacar, la uniformidad de PV a 5 sem de vida es un factor clave que va a determinar la calidad del lote de futuras ponedoras. De hecho, hoy día se estima que los valores a 5 sem son más determinantes que a las 17 sem en relación con la productividad del lote durante el período de puesta (Tabla 4) (Sapcota et al, 2017). En cualquier caso PV y uniformidad son dos conceptos que van unidos y deben de ser controlados al unísono durante la fase recria de las pollitas. El objetivo es por tanto doble: a) lograr que el PV de las aves se ajuste a la curva teórica de crecimiento, marcadas por la genética de cada estirpe y b) lograr lotes lo más homogéneos posibles con un alto porcentaje de pollitas con PV similares. A fin de cumplir con estos dos objetivos se requiere un buen programa de alimentación durante las diversas fases de la recria y un buen manejo del lote, entendido en base al concepto más amplio del mismo.

1.2.1.- Correlación entre el peso vivo de la pollita y los resultados productivos.

Existe una fuerte correlación entre el peso de la pollita a las 5 sem de vida y los resultados posteriores durante la puesta. Como ya se ha indicado previamente esta correlación es más importante a las 5 que a las 16 sem de vida. A destacar que desde el nacimiento hasta las 5 sem de vida, tiene lugar el desarrollo de todos los órganos

vitales del animal, incluido el sistema esquelético y muscular, lo que va a ser clave y motor durante su vida productiva posterior. A este particular destacar que el peso del huevo depende fundamentalmente del peso de la gallina y que el peso del ave al inicio de la puesta depende en gran medida de su capacidad de ingestión de pienso. Por todo, un buen desarrollo del aparato digestivo facilitará la consecución de estos objetivos.

Tabla 4 – Correlación entre peso de las pollitas y resultados en puesta

	PV 5 sem	PV 10 sem	PV 16 sem	Uniformidad 16 sem
Edad al inicio de puesta	0.63 ⁺⁺⁺	0.59 ⁺⁺⁺	0.39 ⁺⁺	NS
Persistencia de la puesta	0.82 ⁺⁺⁺⁺	NS	NS	0.46 ⁺⁺
Supervivencia a las 60 sem	0.71 ⁺⁺⁺	NS	NS	0.40 ⁺⁺
Supervivencia a 72 sem	0.65 ⁺⁺⁺	NS	NS	0.61 ⁺⁺⁺
Producción				
Puesta hasta 60 semanas	0.83 ⁺⁺⁺⁺	0.30 ⁺⁺	NS	0.54 ⁺⁺⁺
De 60 a 72 semanas				
Hasta	0.94 ⁺⁺⁺⁺	NS	NS	0.6 ⁺⁺⁺
Hasta 72 semanas	0.93 ⁺⁺⁺⁺	NS	NS	0.72 ⁺⁺⁺

Significación de la correlación

++++ Muy alta (> 0,75)

+++ Alta (0,50 a 0,75)

++ Media (0,25 a 0,50)

Theo Peters; Hisex 2001

A tener en cuenta que hasta la quinta semana de vida el ave debe multiplicar por 7 su PV inicial, por lo que es muy importante un consumo adecuado de aminoácidos en esta etapa inicial. De hecho, las primeras semanas de vida del ave se corresponden con una fase proteico dependiente, de crecimiento rápido del tejido muscular y en la cual es importante es lograr un buen desarrollo corporal. Así mismo, en esta fase tiene prioridad el desarrollo de los órganos internos y del esqueleto, por lo que se

debe prestar especial atención no solo al nivel de proteína (aminoácidos) sino también al nivel de energía y macronutrientes y elementos traza.

En la tabla 4, se muestra las correlaciones significativas entre el peso de las pollita, uniformidad del lote a diversas edades con la productividad posterior de las aves (Peters, 2001). El peso de la pollita a las 5 sem de vida está correlacionado ($r^2=0,63$) con la edad a la que se inicia la puesta, así como con la persistencia ($r^2=0,82$), la supervivencia a 60 sem de vida ($r^2=0,71$) y sobre todo ($r^2=0,93$) con la producción de huevos desde el inicio de la puesta hasta 72 sem de vida. (Martin et al. 2005).

A las 12 sem de edad el crecimiento del esqueleto está prácticamente finalizado (el 95% aproximadamente). Por ello PV a esta edad por debajo del estándar son indicativos de un pobre desarrollo del esqueleto, lo que va a repercutir en el tamaño de la pollita a edades posteriores (Hester, 2017).

En el momento actual la pollita de estirpes rubias debe de alcanzar un PV superior a los 1.500 g a las 18 sem de vida (Hy Line 2018, Lohmann 2018, Isa Brown 2018, Novogen 2018). Pesos ligeramente superiores al estándar recomendado por la estirpe garantizan en general un pico de puesta óptimo, así como una buena persistencia y viabilidad del lote. La razón es que un PV por encima del recomendado permite a la pollita superar de forma más efectiva el estrés de inicio de puesta y el traslado desde las naves de recría

En la práctica, un buen peso corporal junto con una buena uniformidad durante todo el período de la recría da lugar a una mayor productividad por ave alojada (Kekeocha, 2004). Es importante considerar que debido a su escaso PV, consecuencia de la mejora genética para mejorar la eficiencia alimenticia, las ponedoras actuales, presentan a menudo un estado de balance energético negativo

durante el pico de puesta. En este período, sobre las 18 sem de vida, la pollita no presenta buenos consumos debido a su tamaño reducido, pero sus necesidades son elevadas tanto por el inicio de la producción, como para su propio desarrollo corporal. Por tanto, si la condición corporal es óptima y ligeramente superior al estándar de la estirpe, la nueva ponedora podrá utilizar de forma más fácil sus reservas corporales en éste período crítico de la puesta. Por tanto será más factible lograr una curva de producción sin altibajos evitando caídas en los momentos de necesidades crecientes, sin menoscabo de su desarrollo corporal y sin afectar a la puesta posterior.

1.2.2.- Uniformidad

La dispersión de pesos de un lote de aves en relación con el peso medio es un objetivo clave a conseguir durante la fase de recría de las gallinas ponedoras (Sapcota et al, 2017). En la práctica la uniformidad del lote se calcula función del porcentaje de las aves cuyo peso vivo se encuentra entre el $\pm 10\%$ del peso medio del lote. El objetivo a conseguir es uniformidad superior al 80% (Hy Line 2018, Lohmann 2018, Isa Brown 2018, Novogen 2018). Otra forma de medir la uniformidad consiste en determinar el coeficiente de variación (CV) del lote de pollitas. Este parámetro estadístico determina la dispersión de los PV de una muestra de tamaño suficiente en número y representativa del lote de aves que se evalúa. El CV es más tedioso de calcular y la información que proporciona no es muy superior al que se obtendría por el porcentaje de uniformidad. Por ello, en la práctica, la medida de la uniformidad a efectos prácticos se calcula en base al primer criterio.

Numerosas empresas utilizan la uniformidad al final del periodo de recría como herramienta para valorar el trabajo realizado de forma satisfactorio durante la recría. Sin embargo, como se ha mencionado, una buena uniformidad al final del período de

la recría no siempre significa un lote con una buena uniformidad en base a la condición corporal, que es el objetivo real a conseguir. En la práctica, el cálculo de la uniformidad de un lote se realiza en base al peso corporal de las aves. Pollitas con un PV similar pueden presentar diferente estructura esquelética y relación músculo-grasa y por tanto diferente condición corporal (Hester P. Y., 2017). A este particular, puede darse el caso de lotes de pollitas cuya uniformidad a las 10/12 sem de vida no sea la óptima y que lleguen a uniformizar su PV a las 17 sem mediante el suministro de piensos con alta energía. Pero en estos casos no uniformizan la condición corporal ya que ésta se logra fundamentalmente mediante deposición de grasa y no gracias a un desarrollo armonioso de los órganos de las aves. A fin de conseguir lotes uniformes en el momento de la fotoestimulación a las 17 sem de vida, es preciso trabajar en la primera fase de la recría (o a 10 sem) que es cuando tiene lugar el desarrollo de la mayor parte del esqueleto y del tejido muscular, lo que nos permitirá tener animales con una condición corporal parecida al final (IsaBrown 2018). De ahí lo importante de cumplir el PV marcado por la genética a las 5 sem, tal y como se ha comentado anteriormente.

La uniformidad de un lote de futuras ponedoras influye indirectamente en el comportamiento productivo de las aves durante toda su vida productiva. En la práctica, el lote de aves debe tratarse como un único individuo, en relación con el manejo, los cambios de piensos, y el momento de la fotoestimulación. Si el lote presenta una amplia dispersión de PV en el momento de la puesta, las aves más pequeñas se verán perjudicadas con lo que los resultados productivos se verán alterados de forma importante. Así mismo las aves del lote con PV superior a lo recomendado no se verán beneficiadas, ya que aunque alcancen un peso muy

superior al estándar, esta mejora se habrá logrado con un sobreengrasamiento, lo que puede perjudicar el desempeño posterior del ave.

1.3.- Situaciones de estrés durante la recría

Independientemente del sistema de recepción utilizado a la llegada de las pollitas recién nacidas, el objetivo es el mismo; asegurar una zona de cría que garantice un área de confort para la pollita, y con temperaturas constantes y sin variaciones de las mimas. Hay que tener en cuenta y valorar en su justa medida la capacidad de ganancia diaria (g) y en porcentaje (% PV) de la pollita durante la primera semana de vida: En los primeros tres días tiene la capacidad de ganar en total 13 gramos, que equivale a un 33%, del total de la ganancia de peso corporal en la primera semana.

Esta etapa es la utilizada para formar y aumentar todas las actividades propias del sistema digestivo, para luego, en la segunda etapa de la primera semana (día 4 a 7), poder ganar 23 gramos, que equivale a un 64% de la ganancia total en la primera semana. Entonces si no logramos ese 33% de ganancia de peso corporal en los primeros tres días, será muy difícil pensar en una ganancia del 64%, que equivale a una ganancia de 7 gramos ave día los últimos 3 días de la semana.

Aparte del acceso al alimento, al agua y el ambiente, la pollita está sometida a desafíos (naturales y/o vacunales) que pueden provocar en mayor o menor medida inmunosupresión. La inmunosupresión constituye uno de los principales problemas que afectan a la respuesta inmunológica de manera temporal o permanente, con incrementos de la susceptibilidad a enfermedades y también influye en los rendimientos del crecimiento de las pollitas y sus resultados productivos finales.

La temperatura, calidad del aire y humedad son factores muy importantes a considerar. El no proveer el ambiente adecuado durante el período de crianza

reducirá el futuro desempeño productivo, debido a un menor crecimiento y desarrollo, una conversión alimenticia más pobre y mayor predisposición a enfermedades.

Uno de los objetivos durante la crianza es mantener la pollita dentro de su zona de confort, es decir, que no utilice su energía para ganar o perder calor, sino para su crecimiento.

En la crianza de pollitas es crítico mantener la temperatura correcta, especialmente durante sus dos primeras semanas de vida (Sapcota et al., 2017). Al nacer la pollita está mal preparada para regular sus procesos metabólicos y controlar adecuadamente la temperatura de su cuerpo.

Como resultado, la pollita recién nacida depende de la temperatura ambiental para mantener la temperatura corporal óptima. Si la temperatura disminuye, también lo hará la temperatura corporal de la pollita. Asimismo, si aumenta la temperatura ambiental, también aumentará la temperatura corporal de la pollita.

Demasiado frío o calor durante este período crucial puede resultar en un pobre crecimiento, una mala ganancia de peso y mayor susceptibilidad a enfermedades (Kekeoch., 2004). Las prácticas adecuadas de crianza deben mantener la temperatura corporal de la pollita para que no tenga que utilizar energía para perder calor mediante el jadeo o para generar calor a través de su metabolismo.

Se considera que la pollita desarrolla la capacidad normal de regular su temperatura corporal alrededor de los 12 y 14 días de edad.

1.4.- Utilización de fuentes de fibra

La fibra dietética es un término preciso para definir la fracción de fibra de los ingredientes y piensos, e incluye paredes celulares, polisacáridos no amiláceos y lignina. La fibra se ha asociado tradicionalmente en los no rumiantes con

palatabilidades bajas y pobre utilización de los nutrientes. Sin embargo, la Fibra tiene un papel importante en la alimentación animal, y además se requiere una cantidad mínima para mantener las funciones fisiológicas del tracto gastrointestinal (Pottgutter, 2008). El impacto del uso de la fibra en la fisiología del TGI y el comportamiento animal depende de la especie, edad, manejo y estado de salud del animal. Además, la respuesta difiere considerablemente con las características fisicoquímicas de la fuente de fibra que se ha usado, la solubilidad, el grado de lignificación, el tamaño, la densidad y la capacidad de retención de agua. Éstos son factores clave que afectan los beneficios (o efectos negativos) de la fibra sobre el rendimiento en los animales no rumiantes.

En general, las fuentes de fibra insoluble, como la cascarilla de avena u otros subproductos de cereales, se adaptan mejor a la fisiología del TGI de las aves de corral que las fuentes de fibra soluble como la pulpa de remolacha. Ello es debido a que las fibras solubles aumentan la viscosidad de la digesta, lo que conlleva una reducción del consumo de alimento y por tanto limita el contacto entre nutrientes y enzimas endógenas del TGI. Como consecuencia, las fibras solubles deben evitarse en la alimentación de las aves. Sin embargo, en los cerdos, ambos tipos de fibra pueden ser beneficiosos dependiendo de la edad y estado de salud del animal.

Según la estructura química, los carbohidratos de la dieta se clasifican como azúcares, oligosacáridos y polisacáridos amiláceos y polisacáridos no amiláceos. La fibra dietética se define comúnmente como todo polisacárido vegetal y lignina que son resistentes a la hidrólisis por secreciones digestivas en el tracto gastrointestinal del animal. La fibra dietética cubre una amplia gama de carbohidratos solubles y no soluble conocido como polisacáridos no amiláceos, incluyen pectinas, celulosa, hemicelulosas, glucanos, xilanos y fructanos (Asp, 2004; Bach Knudsen, 1997, 2001).

Los oligosacáridos y el almidón resistente también se consideran parte de la fracción de fibra dietética (Bindelle et al., 2008; Serena et al., 2008; Theander et al., 1994). Dependiendo del tipo, solubilidad y estructura, los Carbohidratos tienen diferentes propiedades funcionales y destinos en el GIT. Las enzimas digestivas secretada por el proventrículo, el páncreas y el intestino delgado juegan papeles vitales en la hidrólisis eficiente de los diferentes nutrientes de la dieta. Los azúcares y el almidón son enzimáticamente digeridos en el ID y luego, absorbido como azúcares simples. Por definición la Fibra Dietética no puede ser hidrolizada por las enzimas endógenas de aves y cerdos, pero se fermentan en algunas zonas del aparato digestivo por los microorganismos presentes en el GIT. Los principales productos finales de microbios de la fermentación de la fibra son ácidos grasos de cadena corta, gases (principalmente dióxido de carbono, amoníaco, metano y sulfuro de hidrógeno), agua y algunos subproductos fisiológicos bioactivos.

La mayor parte de la fermentación microbiana ocurre en el intestino grueso, pero también hay actividad en la parte distal del SI, especialmente en el cerdo adulto (Leser et al., 2002; Metzler y Mosenthin, 2008). Las propiedades fisiológicas y el potencial de fermentación de la fibra están relacionados con su solubilidad, viscosidad, grado de lignificación, capacidad de retención de agua y estructura física y no se puede predecir con precisión a partir de su composición en monómeros. Las fuentes de fibra con una alta capacidad de retención de agua, permiten que las bacterias del TGI penetren en la matriz e iniciar, a un ritmo más rápido, el proceso de degradación (Metzler y Mosenthin, 2008). Las raíces y frutas vegetales son generalmente reconocidas como buenas fuentes de fibra soluble. (es decir, pectina), mientras que los subproductos de los cereales, como la paja y las cascarillas, son buenos fuentes de fibra insoluble (es decir, celulosa, lignocelulosa). Las fuentes de

fibra, como la pulpa de remolacha azucarera, se fermentan más fácil y rápidamente en el TGI que las fuentes de fibra insolubles y fuertemente lignificadas, como la paja de cereal o la cáscara de avena. En consecuencia, la pulpa de remolacha suministra más energía, y a un ritmo más rápido, que cascarilla de avena o paja de cereal, con diferencias más pronunciadas en animales adultos que en animales jóvenes (Mateos et al., 2012, Qaisrani et al., 2013)

Numerosos estudios han demostrado beneficios consistentes de niveles adecuados de fibra en diferentes aspectos de la producción de pollos de engorde. Sin embargo, la importancia de la fibra en los resultados productivos de pollitas y gallinas ponedoras ha sido menos estudiado, con efectos no muy consistentes relativos a la digestibilidad de nutrientes e influencia la producción de huevos (Guzmán et al., 2015a, b; Kimiaetalab et al., 2017; Kheravii et al., 2017). Los datos disponibles sugieren que la inclusión de cantidades moderadas (20 a 30 g / kg) de fuentes de fibra insoluble en piensos comerciales para pollitas, mejora la función de molleja y aumenta en algunos extensión, digestibilidad y crecimiento de nutrientes en aves jóvenes, con efectos intermedios entre los reportados para pollos de engorde y gallinas ponedoras (Guzmán et al., 2015a, b; Kimiaietalab et al., 2017).

Para satisfacer sus necesidades de crecimiento, los pollos de engorde jóvenes necesitan alimentos con más energía y proteína que las pollitas y gallinas ponedoras (Sapcota D., Narahri D., Mahanta J. D., 2017). En consecuencia, la cantidad de fibra es baja en los piensos de los broilers y a menudo por debajo de las necesidades fisiológicas del ave como componentes estructurales del alimento. Por el contrario, dietas para pollitas al final de la fase de cría o para gallinas ponedoras en la fase final del ciclo de producción de huevos, están menos concentrados y, en consecuencia, el nivel de fibra es mayor. Por lo tanto, la necesidad de fibra adicional es limitada en

estas dietas. Además, los pollos de engorde modernos son más voraces y tienen una alta capacidad de consumo de alimento. Cuando se alimenta con una dieta alta en energía en forma de gránulos, los pollos tienden a consumir en exceso el alimento, lo que resulta en la dilatación de las paredes del proventrículo lo que conlleva un pobre desarrollo de las capas musculares de la molleja. Ello hace que aumente la velocidad de paso de la alimentación a través de la molleja, lo que provoca una sobrecarga de alimentación al ser digerido en el intestino delgado. Como resultado, el almidón y otros componentes de la dieta son utilizados por el ave de forma ineficiente (Svihus, 2011) al aumentar la velocidad de tránsito digestivo. En contraste, la mayoría de las dietas para pollitas y gallinas ponedoras se realizan en forma de harina, lo que reduce el consumo en comparación con las dietas realizadas mediante presentación en gránulos. Por ello en pollitas y gallinas ponedoras, no se espera una sobrecarga de almidón del intestino delgado.

La fibra insoluble tiende a acumularse en la molleja, estimulando mecánicamente el crecimiento de la misma, favoreciendo el desarrollo de las capas musculares (Jiménez-Moreno et al., 2011a). La retención de fibra no solo depende del tamaño de la partícula (Amerah et al., 2009) sino también en el diámetro y tamaño del esfínter pilórico que controla eficientemente la velocidad de vaciado de la digesta desde la molleja hasta el duodeno. En pruebas realizadas manteniendo el tamaño de partícula de la fibra durante todo el período productivo se comprobó que independientemente de la duración del ensayo, el diámetro del esfínter pilórico, aumenta con la edad. Como resultado, a medida que el ave tiene más edad menos fibra se mantendrá en la molleja reduciendo los beneficios de la fibra sobre desarrollo de la molleja y digestibilidad de nutrientes. (Kimiaieitalab y col. 2017)

Antes del comienzo del ciclo de producción de huevos, las pollitas deben adaptar su GIT a consumo de mayores cantidades de alimento. Una práctica comercial común utilizada por la industria para aumentar la capacidad digestiva de las aves consiste en aumentar el contenido de fibra en la dieta durante la última parte del período de cría (10 a 17 semanas de edad). Un TGI más desarrollado favorece la ingesta voluntaria de pienso y, por lo tanto aumenta el PV, la producción y el peso del huevo en el inicio del período de puesta (Guzmán et al., 2016)

Del mismo modo, Scheideler et al. (1998) publicaron que la inclusión de cascarilla de avena en las dietas de cría de pollitas mejoró la ganancia de peso corporal y el índice de conversión de las aves, pero no afectó al consumo de pienso posterior, la producción de huevos o el peso del huevo durante el período productivo. Toda esta información sugiere que la fibra influye en el volumen y las características del GIT, pero las aves se adaptan rápidamente a los cambios en la composición del pienso, con disminuciones en el tamaño de la molleja y aumentos en el pH de la molleja inmediatamente después de que se reduce el nivel de fibra de la dieta. Además, los datos de campo disponibles muestran que los beneficios de alimentar a las pollitas con una dieta alta en fibra son mayores durante la primera semana de vida (es decir, mejora del desarrollo de TGI), así como de 15 a 22 semanas de edad (fase final de la cría y comienzo del período productivo).

El picaje de las plumas es un grave problema de bienestar en las pollitas y gallinas ponedoras, especialmente en las aves criadas fuera de jaulas y sobre todo con los con picos sin cortar (Choc y Hartini, 2003; Hartini et al., 2002). El picaje de las plumas provoca daños en las mismas, lo que reduce la protección del ave contra las condiciones climáticas y ambientales y el comportamiento agresivo de otras aves. La razón del comportamiento anormal no se conoce, pero aumenta con manejos

inadecuados durante la recría o el período de puesta, aburrimento del ave e inadecuada estructura del pienso (es decir, harina gruesa vs gránulo). La provisión de incentivos que provocan

La inclusión de altos niveles de fibra en la dieta reduce el picaje de plumas y canibalismo (Qaisrani et al., 2013; Tahamtani et al., 2016). Qaisrani y col. (2013) publicaron que las dietas con un alto contenido de fibra insoluble reducen el picaje y plumas dañadas en las pollitas con dietas que contenían cascarilla de avena, siendo más efectivo para prevenir el comportamiento agresivo que las que contenían harina de girasol. Probablemente, la mayoría de los beneficios de la fibra voluminosa en el comportamiento de las aves son causados por el aumento de la saciedad que resulta en un comportamiento menos agresivo (Aerni et al., 2000; Bearse et al., 1940; Hartini et al., 2002; Pottgütter, 2008; Salih y col., 1990; Van Krimpen y col. 2009).

Hay que tener en cuenta que cuando se usa una fuente de fibra insoluble en la dieta, las aves tienden a compensar la menor concentración de energía mediante un aumento en consumo de pienso voluntario. Si el ave no puede compensar la concentración de energía más baja de la nueva dieta con un aumento proporcional en el consumo de pienso, la ingesta de energía podría disminuir y por tanto se reducirá la producción de PV y la producción de huevos (Qaisrani et al., 2013).

1.5.- Inclusión de ácidos orgánicos y otros aditivos

En la búsqueda de alternativas nutricionales como sustitutos de los antibióticos y de los promotores del crecimiento en la alimentación de los animales, se encontró como opción el uso de ácidos orgánicos (Ricke et al., 2003). Éstos se han utilizado como aditivos alimenticios para prevenir el deterioro del pienso y darle una vida más larga. Otra de sus propiedades es controlar la contaminación microbiana por

patógenos en los piensos. Distintos ácidos orgánicos, en especial aquéllos de cadena corta, tienen a nivel intestinal, propiedades antimicrobianas similares a los antibióticos (Osman Y., 2020).

Las aves tienden a recibir piensos libres sin antibióticos u otros productos antimicrobianos al margen de límites legislativos, y a falta de evidencia científica, los consumidores están convencidos de que el uso de antibióticos o sustancias químicas afines tienen un peligro inherente.

Los promotores de crecimiento de tipo antibiótico han sido reemplazados por otros aditivos vía pienso o agua, generalmente a dosis altas (Zhang, 2011). Al eliminar los promotores de crecimiento de tipo antibiótico, se pone de manifiesto que su misión era la de controlar el crecimiento microbiano excesivo y modificar el perfil del mismo, en particular la infección con *Clostridium* spp. Hoy día se han diseñado diversas estrategias basadas en el uso de una serie de aditivos como probióticos, aceites esenciales, ácidos orgánicos, enzimas y, más recientemente, de triglicéridos de cadena media (Kulkarni et al. 2020). Los ácidos grasos de cadena corta son ácidos grasos volátiles que juegan un papel en la acidificación del pienso o del agua de bebida (Van Vugt 2001). Así, el ácido propiónico y el ácido acético se utilizan por su alta capacidad para controlar el crecimiento de hongos en el pienso así como por sus efectos antibacterianos (Osman Y. 2020). Aunque la incidencia de contaminación del pienso con hongos se ha reducido en los últimos años, existe un alto interés actualmente en la utilización de acidificantes en agua en avicultura, especialmente en aves jóvenes. El control del pH del agua incrementa los rendimientos productivos, especialmente en granjas e integraciones donde no se usan antibióticos como preventivos (Zhang, 2011).

El ácido butírico es uno de los ácidos grasos de cadena corta más comunes que se producen en el colon de humanos, animales y en el rumen a partir de la fermentación bacteriana anaeróbica de la fibra, proteínas y de almidón no digerido. (Kotunia et al. 2004). Se sabe que el butirato tiene un efecto protector en intestino (Osman Y. 2020). Además, el ácido butírico es un estimulante del desarrollo intestinal y su inclusión en el pienso aumenta la superficie de contacto de las microvellosidades intestinales y la secreción de enzimas digestivas del cerdo, lo que resulta en una mejora de la absorción de los nutrientes (Kotunia et al., 2004). En aves, el butirato es reconocido por su efecto antibacteriano sobre enteropatógenos gram negativos como *E.coli* y *Salmonella* spp y gram positivos como *Clostridium* spp. (Kulkarni et al, 2020).

Diversos estudios indican que el butirato estimula el sistema inmune no específico, mediado por macrófagos, así como la inmunidad local específica, (Pouillart et al., 2000. Kulkarni et al. 2020). De hecho la presencia de butirato en el lumen intestinal reduce la inflamación del tejido a nivel de colon (Inan et al., 2000) y regula la proliferación de los enterocitos y el suministro de energía a los mismos de forma directa (Thompson et al, 1997).⁷ Su utilización como aditivo en alimentos de iniciación de lechones mejora la altura y el desarrollo de las vellosidades y su espesor en yeyuno e íleon (Kotunia et al., 2004). En pollos debido a su efecto bactericida, la presencia de butirato tiende a modular el crecimiento de la flora intestinal (Lan et al, 2005). Su administración directa en ratas, mejora la estructura del yeyuno y estimula la proliferación celular y la síntesis de proteína en la mucosa digestiva. Así mismo regula los niveles de citoquinas IL–8 e IL–6 en el intestino durante los procesos de inflamación, por lo que su papel sobre la respuesta inmunitaria es importante (Ziegler et al, 2003). En cualquier caso para que el ácido butírico suministrado por vía oral sea

eficaz a nivel del tracto intestinal, debe administrarse de forma protegida, para evitar su desaparición en la parte proximal del intestino y obtener una liberación lenta y gradual en el intestino distal; debido a su olor penetrante y desagradable, es preciso proteger la molécula mediante recubrimiento, o suministrando el principio activo en forma del glicérido correspondiente (Van Immerseel et al. 2004).

En ponedoras comerciales al final del primer ciclo la inclusión de butirato en el pienso aumentó el índice de puesta y la calidad de la cáscara de los huevos (Kotunia et al., 2004). Se ha determinado que el butirato juega un papel importante en el mantenimiento de la mucosa intestinal (Van Vugt et al., 2001).

La microbiota intestinal desempeña un papel crucial en los efectos positivos de la fibra en la salud, y eso fundamentalmente gracias a los ácidos grasos de cadena corta que alberga. Éstos son moléculas resultantes de la fermentación de los componentes de los alimentos (esencialmente la fibra, un hidrato de carbono no digerible) presentes en el intestino grueso (Kulkarni et al 2019).

Los ácidos grasos de cadena corta tienen efectos diversos sobre el desarrollo y la salud del tracto gastrointestinal. De hecho, una de sus principales cometidos es servir de fuente directa de energía de los colonocitos, con lo que contribuyen a la reparación y consolidación de la mucosa protectora del intestino distal (Osman Y. 2020).

Asimismo, diversos estudios (Van Vugt et al., 2001, Van Immerseel et al. 2004) han demostrado cierta influencia de los ácidos grasos de cadena corta en la motilidad intestinal, la contracción muscular mediante la que se propulsan los contenidos de los intestinos durante el proceso de la digestión, a través del TGI, utilizando modelos humanos o animales.

Los ácidos grasos de cadena corta afectan también a los mecanismos de metabolización de la energía en el cuerpo animal, por tanto pueden jugar un efecto

protector frente a enfermedades metabólicas y la obesidad (Laparra et al 2007). Además los ácidos grasos de cadena corta juegan un papel importante sobre el desarrollo del sistema inmunitario (Ricke et al., 2003) y particularmente el butirato juega un papel antiinflamatorio importante, ayudando en la diferenciación y especialización de las células inmunitarias (T reguladoras), responsables en gran medida de «mantener el orden» inmunitario (Arsenault 2020)

Los ácidos grasos de cadena corta son moléculas importantes y uno de los principales mecanismos de control de la microbiota intestinal y sus efectos sobre la salud animal (Dittoe et al. 2020). Dado que la producción de los ácidos grasos de cadena corta por parte de las bacterias del TGI está ligada a la ingestión de alimentos, son numerosos los científicos que vinculan de forma estrecha alimentación, microbiota intestinal y salud animal (Ricke et al. 2003, Steven 2020).

1.6.- Corte de picos

En el mundo de la avicultura de puesta, uno de los temas que más preocupan al sector es el futuro de la práctica del corte de picos. Existen diversas hipótesis sobre el origen del picaje. Una de las más extendidas argumenta que los animales tienen el instinto de picotear los granos que se encuentran en el suelo y en su ausencia, redirigen este comportamiento al picoteo de sus compañeras de jaula (Kekeocha C.C., 2004). Una hipótesis alternativa explica que es un comportamiento ancestral de las gallináceas por el cual los animales eliminan a los individuos más débiles o con algún defecto físico, para que sólo perpetúen la especie los mejores ejemplares. Esto se ve apoyado observando el comportamiento en las granjas con gallinas en suelo, con animales heridos o más débiles que en muchas ocasiones son matados por sus compañeras.

El pico constituye la porción inicial del tracto digestivo de las aves; y es una adaptación biológica al tipo de alimento que reciben estos animales. Desde el momento mismo de la eclosión el pico juega un papel importante para las aves (Parkhurst y Mountney 1988). En el nacimiento la pollita tiene que romper las membranas del huevo y posteriormente la cáscara; y posteriormente al nacimiento, el pico inicia su función principal de recolección de alimentos. Esta no es su única función y existen otras como el colorearse durante el cortejo, como elemento de lenguaje postural y de comunicación de las aves; asimismo para el apareamiento (en el macho), y finalmente es la base del sentido del gusto acompañado de la visión y del olfato.

1.6.1.- Necesidad del corte de picos

El corte de picos de las ponedoras como de las reproductoras es necesario para evitar el desperdicio de alimento, para reducir el canibalismo, para disminuir la incidencia de picoteo de las plumas, evitar prolapsos y permitir un consumo de alimento y nutrientes uniforme. Si la pollita mantiene el pico entero, se acostumbrará a jugar y sacar el alimento del comedero, así como a escoger los granos más grandes provocando dispersión de otros ingredientes como nutrientes que repercutirán más tarde en su crecimiento, desarrollo y potencial productivo. Si al ave se la corta el pico pierde el hábito de escoger.

Pero más importante que el alimento es la reducción del canibalismo, pues todo animal confinado sufre estrés (nerviosismo, tensión), que provoca alteraciones en su comportamiento y metabolismo. En las aves se manifiesta por canibalismo y es más violento en función al nivel de tensión al que es sometido el ave (Sapcota et al.,

2017). De esta forma, aves sometidas a calor intenso son más agresivas; así como aquellas criadas en poco espacio físico, con falta de comederos y bebederos.

Intuitivamente podríamos afirmar que el ave puede distraerse comiendo y bebiendo, sin embargo esto no es así y ella busca otras distracciones y diversiones (esto se ve claramente en aves criada en suelo donde incluso suele utilizar juguetes, balas de alfalfa, etc. que sirvan como distracción) como el picotear a sus compañeras y el problema radica en el lugar que ella escoge para picotear. Si la otra ave tuviera una herida, ese sería el lugar a picotear. De lo contrario la cloaca es el lugar escogido por su coloración rojiza, que llama más la atención. El lugar picoteado e la cloaca es herido y se forma una cicatriz, cuyo tejido se vuelve menos elástico que el de la cloaca normal; resultando aves condenadas a sufrir prolapso.

Otra parte frecuentemente atacada por las aves es el oviducto, que queda expuesto transitoriamente en el momento de la postura. Cicatrices en el oviducto son frecuentes y también acarean pérdidas de la elasticidad del tejido muscular así como infecciones que incluso llevan a la muerte de los animales. En algunos casos estas aves se vuelven menos productivas o en el peor de los casos interrumpen totalmente la postura y con frecuencia mueren por prolapso del oviducto o por peritonitis; esto debido a que el huevo que no puede salir por la cloaca rompe el oviducto y se ubica en la cavidad abdominal iniciando la descomposición y muerte del ave. Desde el punto de vista económico, un ave poco productiva es un problema incluso mayor que un ave muerta, puesto que el ave sigue consumiendo sin producir huevos.

Asimismo cuando las instalaciones le permiten a la gallina acercarse a los huevos, quebrarlos puede también volverse una atracción para las aves estresadas. La forma más eficaz de prevenir todos estos comportamientos que comprometen la producción es mediante el corte de picos (Parkhurst y Mountney 1988) .

El hecho es que la mayor parte de los lotes de gallinas padecen este problema y que se ve incrementado si se motiva con diversos factores (Hester, 2017)

- Aumento de estrés
- Un mal equilibrio en la dieta (pienso excesivamente concentrado)
- Hacinamiento excesivo en las jaulas
- Deficiente ventilación de las naves
- Elevada temperatura o humedad ambiental
- Intensidad lumínica excesiva o desigual, (en naves abiertas mayor problema en primavera por el aumento de las horas solares)
- Falta de comederos o bebederos en las jaulas
- Mal emplume o retraso en el desarrollo de las plumas
- Comederos a una altura incorrecta (deben estar situados a la altura del dorso, puesto que más bajos favorecen el canibalismo)
- Mayor incidencia en estirpes blancas que morena

Para reducir esta problemática, el sector estableció el corte de picos como un manejo habitual en las naves de recría. Pese a la tendencia europea, insistente en que el corte de picos es una mutilación innecesaria y que causa un perjuicio al animal, podemos encontrar un gran número de estudios que apuntan que el corte de picos, por el contrario, beneficia el rendimiento y el bienestar de las ponedoras.

1.6.2.- Legislación actual en la Unión Europea

En la actualidad, la legislación española, de acuerdo con lo dispuesto en el Real Decreto 3/2002 del 11 de Enero, por el que se establecen las normas mínimas de protección de las gallinas ponedoras indica que: *Sin perjuicio de lo dispuesto en el punto 9 del anexo del Real Decreto 348/2000, de 10 de marzo, por el que se*

incorpora al ordenamiento jurídico la Directiva 98/58/CE, relativa a la protección de los animales en las explotaciones ganaderas, queda prohibida toda mutilación de los animales.

No obstante, para evitar el picado de las plumas y el canibalismo, se podrá recortar el pico de las aves siempre y cuando dicha operación sea practicada por personal cualificado y sólo sobre las pollitas de menos de diez días destinados a la puesta de huevos. Quedando totalmente prohibido un corte de picos posterior salvo por prescripción veterinaria justificada

Por otro lado, algunos países de la Unión Europea quieren abolir esta práctica y están o han puesto ya en marcha nueva legislación para prohibir totalmente el corte de picos (Suecia, Finlandia, Dinamarca, Holanda y Alemania).

1.6.3- Importancia del tipo de corte de picos sobre la productividad

Se ha dicho anteriormente que el pico es la parte inicial del tracto digestivo de las aves y está en constante crecimiento durante la vida del animal. Este está compuesto por una base ósea, tejido vascular y nervioso, dermis y queratina, comúnmente conocido como la ranfoteca.

Debido a que el pico esté en continuo crecimiento, el corte de picos es importante ya que redirige su crecimiento, además de redondear la punta del pico para que no sea tan puntiagudo, de modo que, si existe un picaje posterior, este sea menos dañino que si no se hubiese realizado el corte (Bell y Kuney, 1991).

En la actualidad podemos encontrar dos sistemas para realizar el despunte de picos dentro del marco de la normativa vigente.

Por un lado está el clásico realizado con cuchilla caliente o incandescente y por otro el realizado con tecnología de rayos infrarrojos, cuyas características principales son:

Cuchilla incandescente.

- Se lleva a cabo en granja antes de los diez días de edad.
- La parte del pico que se elimina se extrae en el momento
- Se requiere personal especializado
 - Es complejo y requiere de una buena técnica (el tiempo de cauterización, la temperatura de la cuchilla así como la orientación de ésta, son de gran importancia para realizar un buen corte)
 - Uniformidad variable en el desarrollo de los picos en el lote
 - Posibilidad de un aumento de la mortalidad durante el manejo si no se es cuidadoso.
 - Puede haber problemas de rechazo de pienso y agua si no se realiza la cauterización de forma adecuada.

Infrarrojos.

- Se realiza en sala de incubación
- La parte del pico que se elimina cae a las tres semanas del tratamiento.
- Se realiza dentro del faenado de las pollitas al nacer, no supone un nuevo estrés.
- Es automatizado, no requiere personal especializado
- Es más preciso y no deja heridas abiertas con el riesgo de que se puedan infectar
- A la larga, el pico crece más lentamente
- Gran uniformidad en el desarrollo de los picos en el lote

- Cuidado más minucioso de los animales más débiles en el arranque de las pollitas (asegurar un buen acceso al agua)
- Es prácticamente Indoloro

Las consideraciones comunes a ambos métodos son las siguientes: Se debe dejar mínimo 2 mm de longitud hasta las fosas nasales (si el pico es más corto no permite una buena aprehensión del pienso, pueden dañarse las fosas nasales así como la lengua y provocar desuniformidad en el lote) El corte de picos debe realizarse solo a los animales sanos.

El despique debe de ser realizado bien pues si no se hace de forma correcta, los problemas que acarrea pueden ser mayores que los beneficios que se buscan, tal como se demuestra en la siguiente tabla en una investigación con pollitas leghorn blancas (Bell y Kuney, 1991)

Tabla 5 – Efecto del corte de picos sobre la producción.

	Corte picos correcto	Corte picos incorrecto	Corte picos excesivo
Peso 20 sem. (g)	1540	1350	1200
Producción %	75,7	72,5	60,4,
Huevos producidos 60 sem/ave	207	202	168
Huevos superiores a 56,7 g (%)	83,3	77,8	64,4

¹(Bell y Kuney, 1991)

1.7.- Nutrición e Integridad el Tracto Gastrointestinal

La absorción de los nutrientes del pienso está determinada por el estado de salud del aparato digestivo. Durante los últimos años de selección se ha conseguido aves con un menor peso corporal, menor índice de conversión y con una menor capacidad de ingesta de pienso. El consumo de pienso, así como ciertos ingredientes de la dieta pueden suponer un estrés importante para el aparato digestivo, e incluso en determinados casos, incluso en ausencia de un patógeno específico, se puede dañar el tracto gastrointestinal y desembocar en una pérdida parcial de su función (Ducatelle et al., 2018).

La entrada principal de patógenos y contaminantes de los alimentos es a través del tracto digestivo. A su vez el intestino forma una barrera física, para evitar la entrada, y evitar que atraviesen la mucosa y lleguen al torrente sanguíneo, y una barrera inmunológica, con la activación de las respuestas inmunitarias innatas y adaptativas.

Por tanto la integridad de tracto gastrointestinal es crítica para mantener una barrera física entre la luz intestinal y el organismo y proteger contra la infección (Awad et al. 2017)

En el intestino delgado se lleva a cabo gran parte de la digestión y prácticamente toda la absorción de nutrientes. En primer lugar se encuentra el duodeno, que comienza tras la molleja y termina en la salida de los conductos biliares y pancreáticos. Los contenidos ácidos de la molleja se mezclan con la bilis y los jugos pancreáticos a través de los reflujos gastroduodenales durante una corta retención en este punto (menor de 5 min). En consecuencia el pH sube rápidamente por encima de

6 y comienza el proceso de la digestión. Se estima que el 95% de la grasa se digiere en el duodeno.

Aunque no existe un segmento histológicamente distinto posterior al duodeno, el segmento adyacente posterior termina en el divertículo de Meckel se denomina yeyuno, que tiene un papel clave, porque ahí se digieren y absorben la mayor parte de los principales nutrientes.

El íleon es el último segmento del intestino delgado y termina en la unión ileocecocólica. Su longitud es aproximadamente la misma que el yeyuno, pero su peso es mucho mayor. Se puede producir algo de digestión y absorción de grasa, proteína y almidón, pero se estima que el íleon desempeña un papel fundamental como sitio de absorción de agua y minerales (Awad et al. 2017).

Las células de revestimiento epitelial descansan en estructuras mucosas intestinales especializadas que constituyen las vellosidades y las criptas. Las vellosidades es una formación repetitiva que sobresale de la luz intestinal; las criptas, están ubicadas en la base de las vellosidades y son invaginaciones del epitelio. La vellosidad se considera una estructura especializada para aumentar el área de la superficie de absorción (Heak et al., 2017)

La integridad del tracto gastrointestinal, es fundamental para que se desarrollen de forma normal todas las funciones del aparato digestivo, principalmente la absorción de los nutrientes, y por tanto el aprovechamiento del alimento que se les suministra a las aves. La falta de integridad del TGI repercute de forma directa en la permeabilidad al afectar a los enterocitos de la mucosa intestinal, y por tanto a la absorción de esos nutrientes.

La permeabilidad intestinal se define como la capacidad de la superficie de la mucosa para ser penetrada por las sustancias específicas. El paso de los nutrientes y

la absorción de agua e iones se realizan a través del epitelio intestinal gracias a procesos de transporte activo (mediante transportadores) o pasivos (difusión) desde la luz intestinal al interior de la mucosa, desde donde pueden acceder al torrente sanguíneo. Los enterocitos poseen canales iónicos, transportadores y bombas en las membranas apical y basolateral. Este transporte se lleva a cabo de forma selectiva mediante dos vías principales, la vía paracelular y la vía transcelular (Salvo-Romero et al., 2015).

La vía paracelular supone el 85% del flujo pasivo de moléculas a través del espacio entre las células epiteliales adyacentes y está regulado por las llamadas uniones estrechas que son el sistema de unión de los enterocitos de la mucosa intestinal y son estructuras constituidas principalmente por proteínas específicas (Ulluwisshewa et al., 2011) situadas principalmente en la zona apical y lateral de los enterocitos, y su regulación depende de las proteínas intracelulares del citoesqueleto. Esta vía de entrada constituye una barrera efectiva para el paso de antígenos y es determinante en el establecimiento de la permeabilidad intestinal. Transcelular (Salvo-Romero et al., 2015).

II.- OBJETIVOS

II. OBJETIVOS

2.1.- Objetivos generales

Durante los últimos años la evolución de los programas de genética ha aumentado de forma muy importante, la productividad de las aves de puesta, alargando los ciclos de producción con índices de puesta a las 80 sem por encima del 80% con huevos de calidades de albumen y cáscara aceptables para la comercialización de los mismos. Se entiende que mejoras en las condiciones de recría, incluyendo el período de prepuesta, mejorará la calidad y uniformidad del lote de pollitas y por tanto, mejorará la disposición de las mismas para afrontar el ciclo de producción posterior (Sapcota D., Narahri D., Mahanta J. D., 2017). Genéticamente, las aves están preparados para ciclos largos de producción (>80 sem) con alta persistencia de la puesta e índices de puesta elevados al final del ciclo. A menudo, el problema es la calidad del huevo producido es de los estadios finales que en muchos casos, por problemas de cáscara y a menudo de tamaño, le hacen inviable para su comercialización como huevo de calidad cuando se comercializa como huevo cáscara.

En teoría, lograr huevos de calidad en el período final de puestas largas, parece un objetivo fácil de lograr pero a menudo, se complica debido a factores externos tal como situaciones de estrés (corte de picos), manejos complicados, lotes con PV inicial poco homogéneos (p. ej. procedentes de reproductoras jóvenes que dan lugar a pollitas de escaso PV inicial), así como problemas nutricionales que afectan al desarrollo del TGI, y por tanto al crecimiento posterior de la pollita.

El objetivo general de esta tesis doctoral es investigar la influencia de diversos factores externos estresantes, tales como el corte de picos, temperaturas inadecuadas y otros factores de manejo en las fases iniciales de la vida del ave, así

como PV inicial del ave al nacimiento, sobre el rendimiento productivo de las pollitas y el desarrollo del TGI de las aves. Una vez conocidos y valorados la incidencia de estos factores sobre la productividad del ave, se estudiaron diversas estrategias de manejo y nutricionales durante la recría tales como el uso de butirato y la inclusión de cascarilla de avena como fuente de fibra para preparar a la pollita y por tanto incrementar la producción durante el periodo de puesta, con el objetivo de mejorar los datos productivos (cuantitativos y cualitativos) de la pollita para lograr mejorar la producción posterior de huevos comerciales.

A fin de evaluar la influencia de factores externos sobre los parámetros de crecimiento de las pollitas y las características del TGI se estudiaron los efectos de:

- Tipo de corte del picos e inclusión de butirato de sodio en la dieta sobre el rendimiento del crecimiento y el desarrollo del TGI de pollitas de huevo marrón clasificadas en base al PV al nacimiento.
- Peso del huevo pre-eclosión e inclusión de cascarilla de avena en la dieta, sobre el rendimiento productivo y el desarrollo del TGI de pollitas criadas en condiciones de estrés al inicio de la crianza, a las 16 sem de vida.

2.2.- Objetivos específicos.

Los objetivos específicos de los trabajos de investigación de la presente tesis doctoral fueron los siguientes:

2.2.1 Experimento 1, ensayo 1

Estudiar los efectos del peso de las pollitas al nacimiento y el tipo de corte de picos sobre los rendimientos productivos, la uniformidad, y el desarrollo del TGI de las aves a diferentes edades.

La hipótesis de este ensayo, fue que el estrés causado por el corte de picos de las aves a los 8 días de edad, mediante el método tradicional con cuchilla incandescente, podría reducir el consumo de pienso y el crecimiento de las aves, así como la uniformidad del peso de las pollitas, en comparación con el tratamiento por infrarrojo en la incubadora.

Asimismo, una segunda hipótesis fue que el efecto negativo del corte de picos con cuchilla incandescente sobre la productividad de pollitas de menor peso al nacimiento procedentes de reproductoras jóvenes que en pollitas con mayor peso inicial.

2.2.2 Experimento 1, ensayo 2

Estudió el efecto de la inclusión de butirato de Na en la dieta sobre el desarrollo del TGI y la mejora de los rendimientos productivos en pollitas criadas bajo fuertes situaciones de estrés durante los primeros estadíos de vida. Para ello, las pollitas se enfrentaron a severas condiciones de estrés durante los primeros días de vida. El estrés aplicado consistió en un tratamiento severo de corte de picos (uso del método tradicional de cuchilla incandescente vs aplicación de tratamiento mediante infrarrojo en incubadora). La hipótesis del ensayo, fue que el estrés causado por el corte de picos podría mejorar mediante la inclusión de butirato de Na en el pienso.

Así mismo una segunda hipótesis del ensayo fue que los efectos negativos sobre la productividad de las pollitas provenientes de reproductoras jóvenes, causados en el crecimiento debido al corte de picos con cuchilla incandescente a 8 días de edad, y los efectos beneficiosos de la suplementación con butirato de Na, podrían ser más pronunciados en aquellas pollitas con menor PV al nacimiento que en pollitas con mayor peso inicial provenientes de reproductoras de mayor edad.

2.2.3 Experimento 2 ensayo 3

Estudió la influencia del peso pre-eclosión del huevo y la inclusión de cascarilla de avena en el pienso sobre el desarrollo del TGI y el rendimiento productivo de 0 a 16 sem de vida de pollitas sometidas a severas condiciones de estrés en la primera fase de la crianza. La hipótesis de este ensayo fue que el estrés debido al manejo deficiente de las aves y a factores estresantes de naturaleza ambiental y de manejo en las primeras fases vida, podría afectar el rendimiento productivo de las pollitas, un efecto negativo que podría verse mitigado en parte con el aumento del nivel de fibra insoluble de la dieta consecuencia de su efecto positivo sobre el desarrollo del TGI. Una segunda hipótesis fue que los efectos serían mayores en las pollitas que procedían de reproductoras jóvenes con un menor tamaño de huevo, que en pollitas con mayor peso inicial.

III.- MATERIAL Y METODOS

III. MATERIAL Y METODOS

a. Diseño experimental

Los procedimientos experimentales utilizados en esta investigación fueron aprobados por el Comité de Ética Animal de la Universidad Politécnica de Madrid y cumplían con las Directrices españolas para el cuidado y uso de animales en investigación (Boletín Oficial del Estado, 2013).

3.1.1 Experimento 1 Ensayo 1

3.1.1.1.- Manejo, piensos y diseño experimental

Se utilizaron 720 pollitas Lohmann Classic rubias de un día de edad, provenientes de un lote de reproductoras comerciales de 26 sem de edad (Ibertec, Valladolid). Las pollitas seleccionadas se pesaron individualmente en incubadora y se clasificaron en base al peso vivo inicial en 2 grupos: Ligero (33.9 ± 1.3 g) y Pesado (37.6 ± 1.2 g).

Cada uno de estos grupos se dividió en 3 subgrupos con un mismo peso medio; Dos de estos grupos se sometieron a un corte de picos en incubadora mediante la aplicación de un haz de rayos infrarrojos de alta intensidad (Nova-Tech Engineer- 100 ing Inc., Willmar, MN). La diferencia entre ambos grupos fue la intensidad del infrarrojo: suave (MI-0) usando un tamaño de placa de 27/23C y una configuración de potencia de 48 y agresivo (AG-0) utilizando un tamaño de placa de 25 / 23C y un 46 de ajuste de potencia.

Para las pollitas del tercer subgrupo (HB-8) el corte de picos tuvo lugar en la estación experimental, siguiendo el modelo tradicional a los 8 d de edad. Para ello se utilizó el método de cuchilla incandescente o caliente a 750 °C.

A su llegada a la granja experimental las pollitas se asignaron al azar en grupos de 10 a 72 jaulas. Dentro de cada subgrupo las pollitas se distribuyeron según su PV y tipo de corte de picos (jaulas de 100 cm × 45 cm; Alternative Desing, Siloam Springs, Arkansas). Las jaulas disponían de 2 bebederos multidireccionales de tetina de baja presión (Lubing System S. R. L., Campodarsego, Italia) y un comedero lineal corrido con una longitud de 65 cm. Las prácticas de manejo utilizadas fueron las recomendadas por Lohmann (2018). Las pollitas se vacunaron en incubadora contra las enfermedades de Marek, Gumboro y Bronquitis Infecciosa, siguiendo los procedimientos estándares comerciales. La temperatura ambiente de la granja fue de 35°C durante los 2 d primeros de vida. Posteriormente la temperatura se redujo gradualmente hasta alcanzar los 31°C a los 7 d de edad y 20°C a las 15 sem. El programa de luz de 24 h/d durante los 2 primeros días de vida y 18 h/d de 3 a 7 d. A continuación, el período de luz se redujo 2 h por semana hasta alcanzar 10 h/d a las 5 sem de edad. Posteriormente, la luz se mantuvo constante en una meseta de 9 h/d de 6 a 15 sem de edad. La intensidad de la luz en la nave se mantuvo a 20 lux durante las primeras 3 sem de vida reduciéndose a 6 lux de 4 a 16 sem de edad. Las pollitas tuvieron libre acceso al pienso y agua durante todo el ensayo. Durante la primera semana de vida, el suelo de las jaulas se cubrió con un papel para facilitar el movimiento de las aves. Durante este período se aportaron a diario pequeñas cantidades de alimento a fin de facilitar el arranque de las pollitas. El programa de alimentación consistió en 3 periodos: Inicio (0 a 5 sem), crecimiento (5 a 10 sem) y desarrollo (10 a 15 sem).

Los piensos se formularon de acuerdo a las especificaciones nutricionales de FEDNA (2018) y se presentaron en forma de harina. Los ingredientes utilizados, excepto la harina de soja, los macro minerales, y la premezcla vitamínico-mineral, se

molieron previo a la mezcla, utilizando un molino de martillos provisto con una criba de 3 mm (modelo MRA 220, Rosal S.A., Barcelona, España).

El diseño experimental fue completamente al azar con 6 tratamientos organizados de forma factorial, con 2 PV iniciales y 3 procedimientos de corte de pico. Cada tratamiento se replicó 12 veces y la unidad experimental fue la jaula con 10 pollitas para todas las medidas efectuadas.

3.1.1.2.- Mediciones y controles experimentales

Se determinó el consumo de pienso y el peso de las pollitas por réplica al final de cada una de los 3 períodos experimentales (5, 10 y 15 sem de edad). El desperdicio de alimento fue bajo y uniforme y no fue medido. La mortalidad fue del 1,7 %, valores considerados como normales. Las bajas que tuvieron lugar durante el experimento, fundamentalmente en la primera semana de vida, fueron pesadas estimándose el consumo de pienso e incluyéndose el mismo en los cálculos para conversión alimenticia. En base a estos datos se determinaron los datos de consumo medio diario, ganancia media diaria y el índice de conversión alimenticia por período y de forma acumulada de (0 a 15 sem de edad).

La uniformidad de pesos de las aves se calculó por réplica a las mismas edades, como lo indican Peak et al. (2000). Para ello se determinó el CV de los pesos individuales de las pollitas por réplica utilizándose este parámetro estadístico como medida indirecta de la uniformidad.

Tras los controles a 5, 10 y 15 sem de edad para medir el crecimiento y productividad, se mantuvieron las aves en ayunas por 60 min y posteriormente se alimentaron a voluntad durante 4 h, a fin de maximizar el contenido de la digesta en los diferentes segmentos del TGI. Se seleccionaron dos aves por réplica al azar,

pesándose y realizándose eutanasia posterior por inhalación de CO₂. El TGI se retiró asépticamente y se pesó, desde el inicio del esófago hasta la cloaca, incluyendo el hígado, páncreas y bazo, así como el contenido de la digesta. Posteriormente al pesado del TGI, el buche y la molleja se manejaron cuidadosamente para evitar la mezcla de digesta, y se separaron ambos órganos pesándolo. Los datos se han expresado en valor absoluto como un porcentaje de peso corporal (% peso vivo). Además, se midió el pH del buche, la molleja, el íleon así como el contenido cecal, in situ y por duplicado. Para ello se utilizó un pHmetro medidor, equipado con un electrodo de vidrio de punta fina (modelo 507, Crison Instrumentos S.A., Barcelona, España) tal y como se indica por Jiménez-moreno et al. (2009). Se utilizó el valor medio de 2 mediciones para los análisis estadísticos posteriores.

Una vez medido el PH, del buche y de la molleja lavada en agua a un Ph 6,8 se enjuagó para eliminar el contenido de la digesta, se limpió y secó con papel desecante, y se volvieron a pesar a fin de determinar el contenido de la digesta fresca mediante la diferencia entre el peso lleno y vacío. Los valores del contenido de la digesta se expresan en valores absolutos (g) y relativos (%PV).

Además, la longitud del intestino delgado (ID) incluyendo el duodeno, el yeyuno y el íleon desde el punto de salida de la molleja hasta la válvula ileocecal, así como la longitud de los 2 ciegos desde el ostium hasta la punta del ciego. Para ello se utilizó una superficie de vidrio midiendo con una cinta métrica flexible con una precisión de 1 mm. Los datos se expresan en términos relativos (cm / kg PV). Finalmente, se realizó una incisión y se retiró el tarso izquierdo de las pollitas y la longitud se midió utilizando un calibrador digital y se expresó en relación al PV (%PV).

A los 34 d de edad, se colocaron bandejas limpias bajo la jaulas y 24 h después, se recolectaron, congelaron y almacenaron a -20°C muestras representativas de los

excrementos de cada jaula. Muestras de las mismas se sembraron en medios de crecimiento selectivo para la cuantificación de lactobacilos, enterobacterias, clostridium perfringens, escherichia coli, y colonias de coliformes totales según los procedimientos indicados por Harrigan, 1998.

Los medios utilizados fueron agar MRS para los lactobacilos; rojo violeta, agar de glucosa biliar para las enterobacterias, agar SPS para clostridium perfringens, y agar coli-ID para E. coli y coliformes totales. Los resultados de estos conteos se expresan como log₁₀ UFC / g.

3.1.1.3.- Análisis de laboratorio.

La distribución del tamaño de partícula de las dietas, expresadas como diámetro geométrico medio $\pm$ desviación geométrica estándar, se determinó por triplicado tomando muestras de 150 g utilizando un molino Retsch (Retsch, Stuttgart, Alemania) provisto de 8 tamices que van en malla de 5.000 a 40 μ m (ASAE, 2003).

Se molieron muestras representativas de las dietas utilizadas en los 2 ensayos con un molino de laboratorio (Retsch Modelo Z-I, Stuttgart, Alemania) equipado con un Pantalla de 0,75 mm y analizada según lo indicado por AOAC International (2005).

La materia seca se midió secando al horno (método 930.15), la ceniza total utilizando un horno mufla (método 942.05), y el nitrógeno por Dumas (método 968.06) utilizando un analizador Leco (Modelo FP-528, Leco Corp., St. Joseph, MI), la fibra bruta se determinó por secuencia Extracción con ácido diluido y álcali (método 962.09). La fibra neutro detergente se determinó como se describe por Van Soest et al. (1991) y expresado en base libre de cenizas.

El extracto etéreo se analizó posteriormente con HCl 3 N mediante hidrólisis ácida (método 159 Am 5-04) según lo indicado por el AOCS (2004) utilizando una extracción Ankom XT10. 300 sistema 160 (Ankom Technology Corp. Macedon, NY).

La energía bruta se determinó en una bomba adiabática. calorímetro (Modelo 1356, Parr Instrument Company, Moline, IL). El contenido de aminoácidos de las dietas fue determinado por cromatografía de intercambio iónico (HPHlett- 305 Packard 1100, Waldbronn, Alemania) después de la hidrólisis ácida, según lo indicado por de Coca-Sinova et al. (2008).

La concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) totales y su perfil. Se determinaron en muestras representativas recogidas del buche y del íleon por cromatografía de gases, us310 en un Perkin Elmer Autosystem XL (Perkin Elmer Inc., Waltham, MA) equipado con un detector de ionización de llama y una columna capilar TR-FFAP (30 m × 0,53 mm × 1 µm; Supelco, Barcelona, España) como lo describe Carro et al. (1992). Las muestras fueron descongeladas a 4 ° C durante 4 h y homogeneizado. Posteriormente, se tomaron 2 ml de la muestra que fueron centrifugadas (13,000 × g) a 4° C durante 20 minutos y 0,8 ml del sobrenadante resultante se mezcló con 0,5 ml de una solución desproteinizada que consiste en 20 g de ácido metafosfórico y 0,6 g de ácido crotónico por litro de agua destilada y se deja durante la noche a 4 °C.

Todos los análisis químicos se realizaron por duplicado. La composición de ingredientes, distribución de tamaño de partícula, y los análisis calculados y determinados de las dietas se muestran en Tabla 6.

Tabla 6: Composición y análisis físico-químico de las dietas experimentales. Experimento 1, ensayos 1 y 2

	0 hasta 5 sem ²	5 hasta 10 sem	10 hasta 15 sem
Ingredientes			
Maíz	13.10	12.20	-
Trigo	45.09	48.41	49.99
Cebada	4.50	7.85	24.50
Harina de soja (45.5% CP)	21.20	13.10	5.40
Harina de girasol (35% CP)	10.00	14.00	16.00
Aceite de soja	2.50	1.00	1.00
Carbonato cálcico	1.00	1.20	1.39
Fosfato bicálcico	1.45	1.14	0.74
Cloruro de sodio	0.28	0.34	0.35
DL-methionina (99%)	0.22	0.12	0.05
L-lisina (78%)	0.26	0.24	0.18
Premix vitamínico mineral ³	0.40	0.40	0.40
Análisis calculados ⁴			
AME _n (kcal/kg)	2,900	2,820	2,790
Aminoácidos digestibles			
Lys	0.98	0.84	0.65
Met	0.51	0.41	0.31
Met + Cys	0.79	0.69	0.58
Thr	0.59	0.55	0.46
Trp	0.21	0.20	0.17
Fibra bruta	4.50	5.50	6.0
Fibra neutrodetergente	11.9	14.0	15.3
Fósforo digestible	0.44	0.40	0.34
Análisis realizados ⁵			
Materia seca	89.6	91.1	93.0
Energía Bruta (kcal/kg)	4,020	4,040	4,030
Proteína bruta	20.3	18.9	17.3
Lys	1.10	0.96	0.75
Met	0.54	0.45	0.35
Met + Cys	0.89	0.79	0.67
Thr	0.70	0.65	0.55
Trp	0.25	0.23	0.21
Extracto etéreo	4.40	3.00	2.80
Cenizas	4.96	5.01	4.74
Calcio	1.01	0.95	0.92
Fósforo	0.72	0.68	0.60
Distribución del tamaño de partícula ⁶			
2,500	4.8	13.2	6.5
1,250	29.8	31.7	27.6
630	32.2	27.7	23.1
315	18.5	19.5	14.7
160	12.9	7.3	11.4
80	1.8	0.5	2.1
GMD ± GSD ⁷	829±2.22	1,049±2.25	894±2.31

¹Dentro de cada período, se usaron dos dietas con o sin 0,3% de Na-butilato. El butirato de Na se incluyó en la dieta en sustitución de la cebada

² Esta dieta se usó de 0 a 5 semanas de edad en el ensayo 1 y de 0 a 6 semanas de edad en el ensayo 2

³Suministrado por kilogramo de dieta: vitamina A (acetato de trans-retinilo), 10,000 UI; vitamina D3 (colecalfierol), 3,500 UI; vitamina E (acetato de todo-tocoferol-rac), 35 mg; tiamina, 2 mg; riboflavina, 8 mg;

piridoxina, 4 mg; cianocobalamina, 0.025 mg; vitamina K3 (complejo bisulfato de menadiona), 3 mg; colina (cloruro de colina), 270 mg; ácido nicotínico, 60 mg; ácido pantoténico (pantotenato de D-calcio), 15 mg; ácido fólico, 1,5 mg; D-biotina, 0,15 mg; zinc (ZnO), 90 mg; manganeso (MnO), 75 mg; hierro (FeCO₃), 60 mg; cobre (CuSO₄ · 5H₂O), 8 mg; yodo (KI), 2 mg; selenio (Na₂SeO₃), 0.3 mg; Roxazima, 200 mg [1,600 UI de endo-1,4-β-glucanasa (EC 3.2.1.4), 3,600 UI de endo-1,3 (4) -β-glucanasa (EC 3.2.1.6) y 5,200 UI de endo-1,4-β-xilanasa (EC 3.2.1.8)] suministrada por DSM SA, Madrid, España; y Natuphos 5000 [300 FTU / kg 6-fitasa (EC 3.1.3.26), 60 mg, suministrado por Basf Española S.A, Tarragona, España

⁴Según FEDNA (2010)

⁵Los datos corresponden al promedio de las 2 dietas experimentales (con y sin 0.30% de Na-butilato). Las diferencias en los valores analíticos entre las dos dietas estuvieron dentro de los rangos aceptados

⁶Diámetro del tamiz (μm). Los porcentajes de partículas menores de 80 μm o mayores de 2.500 μm fueron insignificantes para todas las dietas. Los datos presentados corresponden al promedio de las 2 dietas experimentales.

⁷GMD = diámetro medio geométrico, GSD = Log SD normal

3.1.1.4.- Análisis estadístico

Los datos sobre rendimiento productivo, uniformidad PV, características del TGI y la longitud del tarso fue analizada como diseño completamente aleatorio, con procedimiento inicial de corte de pico, PV y tratamiento de picos como efectos principales, utilizando el procedimiento MIXED de SAS como se indica por Littell et al. (1998).

Los datos sobre el recuento de bacterias de los excrementos se analizaron mediante el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute, 2004), fuentes de variación incluidas, efectos principales, periodo de tiempo, y las interacciones

Cuando se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos, las medias se separaron usando el test de Tukey.

3.1.2.- Experimento 1 Ensayo 2

El objetivo del experimento 2 fue estudiar el posible efecto de la inclusión de Butirato de Na en la dieta en diferentes situaciones adversas que pueden darse en la recría de las pollitas, como puede ser el partir de unos pesos bajos de las aves, y de diferentes formas de tratamiento de picos más o menos agresivas (uso del método tradicional de cuchilla incandescente vs aplicación de infrarrojos en incubadora), y de esta forma poder observar los posibles efectos beneficiosos del uso de Butirato de Na sobre el tracto gastrointestinal (TGI) y por tanto en la mejora de los rendimientos de crecimiento de las aves.

3.1.2.1.- Manejo, dietas y diseño experimental

Se usaron un total de 720 pollitas de un día de vida que provenían de un lote de reproductores Lohmann Brown Classic de 27 semanas de edad y la duración del experimento fue de 6 semanas.

El manejo y distribución de las aves fueron similares a los descritos para el ensayo 1. Para ser breve, igual que en ensayo 1 las pollitas se pesaron individualmente a la llegada a la granja experimental (criadero) y se clasificaron por PV inicial en ligeras (33.5 ± 1.2 g) y pesadas (37.5 ± 1.4 g). Cada grupo PV fue subdividido en 3 subgrupos con PV promedio similar. Igualmente, a la llegada a la granja experimental, las pollitas fueron asignadas al azar en grupos de 10, dentro de cada grupo PV inicial y procedimiento de corte de pico, en 72 jaulas según el ensayo 1. Además, la mitad de los subgrupos fueron alimentados con la misma dieta con o sin 0,3% de butirato de Na. El aditivo probado (Butirex C-4; Novation 2002 S. L., Madrid, España) fue una sal protegida de butirato de Na que contenía por análisis 54% de butirato y 21% de sodio.

El proceso consiste en la reacción del ácido butírico con sales tampón, resultante después de enfriar en una estructura química protegida, esta protección evita la liberación y absorción del ácido libre en la parte superior del TGI. La temperatura ambiente y los programas de luz fueron similares a los indicados para el ensayo 1.

Se utilizaron dos dietas: una dieta control que fue utilizado de 0 a 5 semanas en el ensayo 1 y una dieta experimental que tenía la misma composición que la dieta de control, pero en la que el butirato de Na añadido sustituye la misma cantidad pienso.

El diseño experimental fue completamente al azar con 12 tratamientos en un diseño factorial con 2 PV inicial de las pollitas, 3 protocolos de corte de pico, y 2 dietas que diferían exclusivamente en la inclusión o no del 0,3% del aditivo de butirato de sodio. Cada tratamiento se replicó 6 veces, y la unidad experimental fue de la jaula con 10 aves para todas las mediciones de datos.

3.1.2.2.- Mediciones y controles experimentales

Se determinaron el consumo de pienso y el peso vivo individualmente de las pollitas semanalmente por jaula de 0 a 6 semanas de edad. El desperdicio de alimento se midió y se estimó como bajo. La mortalidad se registró y las aves que murieron o fueron sacrificadas se pesaron. A partir de estos, los datos, CMD, GMD y IC se determinaron por jaula, semanal y acumulados como se indica para el ensayo 1. Igualmente la uniformidad del PV se estimó por réplica en las mismas edades, como se indica para el ensayo 1.

A las 6 semanas de edad, después de pesar las pollitas para el control de rendimiento productivo, se seleccionaron 2 aves por réplica azar, se pesaron y se sacrificaron por inhalación de CO₂. Se recogieron 2 g de los contenidos de buche e íleon de cada ave, mezclado inmediatamente con 2 ml de HCl 0,5 N para evitar

cualquier proceso de fermentación, y congelado a -20°C , y almacenados hasta el análisis de ácidos grasos volátiles (AGV).

3.1.2.3.- Análisis de laboratorio

El análisis laboratorial se llevó a cabo igual que en el ensayo 1.

En la tabla 3 pueden observarse la composición de ingredientes, análisis químicos (% como base de pienso) y distribución del tamaño de partícula (μm) de las dietas experimentales en los ensayos 1 y 2

3.1.2.4.- Análisis estadístico

Los datos sobre rendimiento productivo y la uniformidad del PV fueron analizados como completamente aleatorios, diseño con PV inicial de las pollitas, tipo de corte de picos, y la suplementación con butirato de sodio como efectos principales, como también se hizo en el ensayo 1.

Los datos de contenido de AGV de buche e íleon se analizaron utilizando el Procedimiento GLM de SAS. Los resultados se presentan en tablas como medias, y las diferencias fueron consideradas significativas al $P < 0,05$.

3.1.3 Experimento 2 Ensayo 3

El **objetivo del ensayo 3** fue estudiar el posible efecto del peso del huevo pre-eclosión y la inclusión de cascarilla de avena en la dieta, sobre las características del tracto gastrointestinal y el rendimiento productivo de 0 a 16 semanas de edad de pollitas criadas en condiciones de estrés al inicio de la crianza.

3.1.3.1.- Manejo, dietas y diseño experimental

Se utilizaron un total de 672 pollitas provenientes de un lote de reproductores Lohmann Brown-Classic de 24 semanas de edad. Las aves se sacaron de la nacedora después de que la mayoría de las pollitas habían salido de la cáscara (36 h después del inicio de la eclosión). Las pollitas fueron vacunadas durante el período de recría contra enfermedades principales (enfermedad de bronquitis infecciosa, enfermedad de gumboro, enfermedad de Newcastle y *Salmonella* spp.) de acuerdo con las prácticas comerciales aceptadas y recomendadas en la zona (Lohmann, 2018).

Las pollitas se colocaron en grupos, se pesaron individualmente y se clasificaron en 7 grupos según el peso del huevo antes de la eclosión (PH: 47.0 a 54.0 g que difiere en 1 g entre los grupos). Al llegar a la granja experimental, las pollitas se asignaron en grupos de 12, dentro de cada categoría de PH, en 56 jaulas. Las jaulas (1,0 m × 0,45 m; Diseño alternativo, Siloam Springs, AR) que dispone de un comedero (65 cm de largo) y 2 bebederos de tetina de baja presión.

Las aves se mantuvieron en un **programa de luz** de 24 h/d durante los primeros 2 días de vida y 18 h/d de 3 a 6 días. A esta edad, la luz disminuyó 2 h por semana hasta alcanzar las 12 h a las 4 semanas de edad. y luego, de 1 h por semana hasta las 6 semanas de edad. De 7 a 16 semanas de edad, el programa de luz se mantuvo en una meseta de 9 h/d. Durante los primeros 5 días de vida, la temperatura ambiente en la nave se mantuvo a $34 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante el día. posteriormente, la temperatura se redujo gradualmente de 34°C a 31°C a los 7 días de edad y en 2°C por semana después de esta edad para alcanzar los 20°C a las 6 semanas de edad. Las pollitas tuvieron acceso libre al pienso y agua durante todo el experimento.

El programa de alimentación consistió en 3 fases:

0 a 5 semanas,

5 a 10 semanas

10 a 16 semanas

En cada uno de estos 3 períodos de alimentación, la dieta de control se formuló de acuerdo con las recomendaciones de Lohmann (2018). Las dietas experimentales restantes resultaron de la inclusión de 3% de cascarilla de avena a mayores (peso: peso) de la dieta de control. Antes de mezclar, los lotes de maíz, cebada, harina de soya y harina de girasol utilizados para formular las dietas se molieron con un molino de martillos (modelo MRA 220, Rosal SA, Barcelona, España) equipado con una criba de 3 y de 4 mm. (0 a 5 semanas y 5 a 16 semanas de edad, respectivamente).

Durante los primeros días de vida, se aplicaron una serie de estrés a todas las pollitas para imitar las malas prácticas de gestión que eventualmente podrían ocurrir en algunas granjas comerciales. Los estreses aplicados consistieron en:

- a) *ventana de incubación prolongada* (aproximadamente 36 h antes de clasificar las pollitas)
- b) *tiempo de transporte extendido* (10 h) desde la incubadora hasta la instalación experimental,
- c) *no se proporcionó alimentación adicional* en el forro de papel del piso de la jaula a la llegada de las pollitas,
- d) *baja temperatura de la nave* ($31^{\circ}\text{C} \pm 2$) por la noche y intensidad de luz reducida (15 luxes) desde el segundo hasta el 5 día de edad,
- e) *mala colocación de los bebederos de tetina* durante la primera semana de vida (aproximadamente 1 cm por encima de la línea ocular de visión de las aves), y
- f) *corte de los picos* con cuchillas incandescente a los 18 días de edad

El **diseño experimental** fue completamente al azar con 14 tratamientos en un diseño factorial con 7 PH y 2 niveles de inclusión de cascarilla de avena (CA) en la dieta. Cada tratamiento se repitió 4 veces y la unidad experimental fue una jaula con 12 aves.

3.1.3.2.- Mediciones y controles experimentales.

Las pollitas se han pesado individualmente a las 0, 5, 10 y 16 semanas de edad y el coeficiente de variación (CV %) del PV se determinó por jaula y con ello se ha estimado la uniformidad de PV, según lo indicado por Peak et al. (2000).

El consumo de pienso también se controló y midió a las mismas edades y los datos se utilizaron para determinar CMD, ganancia de PV y IC por réplica. Además, se determinó el consumo diario promedio de energía, expresado como kcal de EMAn consumido por día, y el índice de conversión de energía, expresado como kcal de EMAn consumido por g de ganancia de PV.

La mortalidad fue controlada y anotada durante toda la crianza. Además, la ingesta de alimento de las pollitas se midió por jaula durante los 3 días anteriores y los 3 días posteriores al corte del pico (15 a 18 días y de 18 a 21 días de edad, respectivamente). (Como control pues no está incluido el corte de picos en este estudio)

Después de cada uno de los tres controles de peso para medir el rendimiento productivo (5, 10 y 16 semanas), las pollitas se mantuvieron en ayunas durante 90 minutos y luego se les permitió el acceso libre a la alimentación durante 2 horas para maximizar los contenidos de la digestión. Se seleccionaron al azar dos aves por réplica, se pesaron y se sometieron a eutanasia mediante inhalación de CO₂. Inmediatamente después del sacrificio, el TGI completo, desde la parte distal del

esófago hasta la cloaca (incluidos el hígado, el páncreas y el bazo), se retiró de forma aséptica, se pesó, y el peso se expresó en términos relativos al peso vivo (PR; %PV). Posteriormente, los buches y las mollejas con contenido se escindieron y pesaron cuidadosamente.

El pH de estos órganos se midió in situ utilizando un medidor de pH digital equipado con un electrodo de vidrio de punta fina (modelo 507, Crison Instruments S.A., Barcelona, España) según lo indicado por Jiménez-Moreno et al (2009). El valor promedio de dos mediciones se utilizó para un análisis adicional. Luego, la molleja se vació y se limpió de cualquier contenido de digesta, se secó con papel desecante y se pesó nuevamente. El contenido de digesta reciente se calculó por la diferencia entre el peso del órgano completo y el vacío y el peso relativo expresado en porcentaje con respecto al peso total del órgano. Además, la longitud del intestino delgado (ID);(duodeno, yeyuno e íleon) desde la molleja hasta la unión ileocecal, y de los dos ciegos, desde el ostium hasta el extremo del ciego, también se midió en una superficie de vidrio usando una cinta flexible con una precisión de 1 mm y expresada en términos relativos (LR; cm / kg PV). El pH del íleon y el contenido cecal se midió según lo indicado para el buche y la molleja. La longitud del tarso se midió utilizando un calibre digital y se expresó en relación con PV.

3.1.3.3.- Análisis de laboratorio

La distribución del tamaño de partícula y el tamaño medio de partícula de cascarilla de avena y de los piensos realizados, expresadas como diámetro geométrico medio $\pm$ desviación estándar geométrica, se determinaron en muestras de 200 g utilizando un molino Retsch (Retsch, Stuttgart, Alemania) provisto de 8 tamices en malla de 5,000 a 40 μ m, como lo indica la ASAE (2003).

La capacidad de retención de agua (ml/g de MS), la capacidad de hinchamiento (ml/g de MS), el pH inicial y las propiedades del tampón de la CA se determinaron según lo indicado por Jiménez-Moreno et al. (2009a). Las muestras representativas de CA y los piensos se molieron en un molino de laboratorio (Retsch Model ZI, Stuttgart, Alemania) equipado con una criba de 0,75 mm y se analizaron la humedad mediante secado en horno (método 930.15), **ceniza total** utilizando un horno de mufla (método 942.05).), **fibra bruta** por extracción secuencial con ácido y base diluidos (método 962.09) y **nitrógeno** por Dumas (método 968.06) utilizando un analizador Leco (modelo FP-528, Leco Corp., St. Joseph, MI) como lo indica AOAC International (2012). La **energía bruta** se determinó utilizando un calorímetro de bomba adiabático (modelo 1356, Parr Instrument Company. Moline, IL, EE. UU.). Además, la fibra neutro detergente (NDF), la fibra ácido detergente (ADF) y la lignina ácido detergente (ADL) se determinaron secuencialmente y se expresaron sin cenizas (Van Soest et al., 1991). Todos los análisis se realizaron por duplicado, excepto el tamaño de partícula del CA y los piensos que se determinaron por triplicado. Los análisis químicos y las propiedades físico-químicas del CA y la composición de los ingredientes, los análisis químicos y la distribución del tamaño de las partículas de las dietas se muestran en las tablas 7 y 8 respectivamente.

Tabla 7. Análisis físico-químico de la cascarilla de avena

Análisis calculados ¹	
AME _n (kcal/kg)	400
Extracto etéreo	1.3
Almidón	8.7
Proteína bruta	4.1
Aminoácidos totales	
Lys	0.16
Met + Cys	0.14
Thr	0.15
Trp	0.05
Calcio	0.10
Fósforo total	0.17
Análisis determinados ²	
Materia seca	91.7
Energía bruta (kcal/kg)	4,022
Fibra bruta	30.1
Proteína bruta	4.3
NDF	69.0
ADF	36.4
ADL	8.4
Cenizas totales	4.7
Propiedades físicas	
Distribución de tamaño de partícula ³ (µm)	
2,500	0.7
1,250	23.1
630	56.9
315	13.7
160	0.02
GMD ⁴ ± GSD ⁵ (µm)	893 ± 1.71
Capacidad de retención de agua ± SD (mL/g DM)	3.96 ± 0.75
Capacidad de retención de agua ± SD (mL/g DM)	1.87 ± 0.16
Propiedades buffer	
pH Inicial ⁶ ± SD	6.11 ± 0.03
Capacidad Bufer Base ⁷ ± SD	86.0 ± 6.1
Capacidad Bufer Ácido ⁸ ± SD	65.4 ± 5.0

¹Según FEDNA (2010).²Analizado por duplicado, a excepción del tamaño medio de partícula que se determinó por triplicado.³Diámetro del tamiz, µm. El porcentaje de partículas mayores de 5,000 µm o menores de 80 µm fue insignificante para todas las dietas⁴Diámetro medio geométrico.⁵Desviación estándar geométrica.⁶pH de 0.5 g de la fuente de fibra (DM) suspendido en 50 mL de agua doblemente destilada.⁷µEq de NaCA requeridos para aumentar el pH de 0,5 g de MS de la fuente de fibra suspendida en 50 ml de agua doblemente destilada desde el pH inicial a pH 7 dividido por el cambio de pH..⁸µEq de HCl requeridos para disminuir el pH de 0,5 g de MS de la fuente de fibra suspendida en 50 ml de agua doblemente destilada de pH 7 a pH 4 dividido por el cambio de pH

Tabla 8. Composición y análisis químico de las dietas experimentales

Cascarilla de avena	0 a 5 semanas		5 a 10 semanas		10 a 16 semanas	
	0%	3%	0%	3%	0%	3%
INGREDIENTES						
Cebada	-	-	40.0	38.8	25.0	24.3
Maíz	62.6	60.8	35.8	34.7	49.9	48.4
Harina de soja (45.5% PB)	33.1	32.0	21.2	20.6	7.0	6.8
Harina de girasol (30% PB)	-	-	-	-	15.3	14.8
Oleínas de soja	1.00	0.97	-	-	-	-
Cascarilla de avena	-	3.00	-	3.00	-	3.00
Carbonato cálcico	1.00	0.97	1.00	0.97	1.03	1.00
Fosfato bicálcico	1.50	1.46	1.30	1.26	1.10	1.07
Cloruro de Sodio	0.35	0.34	0.34	0.33	0.37	0.36
Premix Vitaminas y minerales ¹	0.20	0.19	0.20	0.19	0.20	0.19
DL-metionina (99%)	0.16	0.16	0.13	0.13	0.03	0.03
L-lisina-HCl (78%)	0.09	0.09	0.05	0.05	0.07	0.07
L-treonina (98%)	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-
ANÁLISIS CALCULADOS ²						
AME _n (kcal/kg)	2,900	2,834	2,779	2,708	2,708	2,639
Extracto etéreo	3.7	3.6	2.3	2.2	2.4	2.4
NDF	8.6	10.4	11.9	13.7	15.5	17.1
Proteína bruta	19.9	19.4	17.0	16.6	14.4	14.1
Aminocácidos digestibles ³						
Lys	0.98	0.95	0.74	0.72	0.51	0.49
Met	0.43	0.42	0.35	0.34	0.26	0.25
Met + Cys	0.69	0.68	0.60	0.59	0.47	0.46
Thr	0.65	0.63	0.52	0.51	0.42	0.40
Trp	0.20	0.19	0.17	0.16	0.13	0.13
Ile	0.73	0.71	0.58	0.57	0.46	0.45
Calcio	0.92	0.96	0.85	0.83	0.82	0.80
Fósforo total	0.63	0.61	0.58	0.57	0.58	0.57
Fósforo Digestible	0.42	0.41	0.39	0.38	0.36	0.35
ANÁLISIS DETERMINADOS ⁴						
Materia seca	87.8	88.3	90.4	91.7	90.8	91.2
Energía bruta (kcal/kg)	3,880	3,900	3,950	4,025	3,935	3,925
Proteína bruta	19.4	18.8	17.6	17.5	15.5	15.1
Fibra bruta	3.0	3.8	3.7	4.5	6.5	7.2
NDF	8.9	10.6	11.7	13.5	15.0	16.8
ADF	3.7	3.8	3.9	4.3	5.8	6.5
ADL	0.6	0.7	0.7	0.9	2.0	2.1
Cenizas totales	4.8	4.9	5.8	5.5	5.1	5.6
Distribución tamaño partícula ⁵ (µm)						
2500	5.8	5.5	9.1	9.0	19.3	21.2
1250	35.3	34.7	35.5	42.5	30.3	32.5
630	33.1	36.8	31.2	27.4	26.6	24.9
315	13.7	13.7	13.7	12.6	17.6	14.0
160	12.1	9.3	10.5	8.5	6.2	7.4
GMD ⁶ ± GSD ⁷	946 ± 3.0	977 ± 2.9	1,011 ± 2.2	1,106 ± 2.1	1,158 ± 2.2	1,222 ± 2.3

¹Suministrado por kilogramo de pienso: vitamina A (trans-retinyl acetate), 10,000 IU; vitamina D₃, 2,600 IU; vitamina E (all-rac-tocopherol-acetate), 20 mg; vitamina B₁, 1.5 mg; vitamina B₂, 5 mg; vitamina B₆, 2.3 mg; vitamina B₁₂ (cyanocobalamin), 15 mg; vitamina K₃ (bisulphatemenadione complex), 2.7 mg; colina (choline chloride), 250 mg; ácido nicotínico, 30 mg; ácido pantoténico (D-calcium pantothenate), 9 mg; ácido fólico, 0.6 mg; D-biotina, 75 mg; zinc (ZnO), 62 mg; manganeso (MnO), 78 mg; hierro (FeCO₃), 40 mg; cobre (CuSO₄ · 5H₂O), 8 mg; yoduro (KI), 0.6 mg; selenio (Na₂SeO₃), 0.3 mg; and Natuphos 5000 [300 FTU/kg 6-phytase (EC 3.1.3.26), 60 mg, suministrado por Basf Española S.A, Tarragona, España].

³Valores de retención aparente en el total del tracto.

²Según FEDNA (Fundación Española Desarrollo Nutrición Animal, 2010).

⁴Analizado por duplicado a excepción del tamaño medio de partícula que se analizó por triplicado.

⁵Diámetro del tamiz, µm. El porcentaje de partículas mayores de 5,000 µm o menores de 80 µm fue insignificante para todas las dietas

⁶GMD = Diámetro medio geométrico

⁷GSD = Desviación geométrica estándar.

3.1.3.4.-Análisis estadístico.

En el **ensayo 3** los datos sobre el rendimiento del crecimiento, las características de TGI y las mediciones corporales se analizaron como un diseño completamente al azar con inclusión de PH y CA como efectos principales, utilizando el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute, 2004). Las sumas de los cuadrados de los tratamientos de los efectos de PH en las diferentes variables del TGI estudiadas se dividieron en efectos lineales y cuadráticos. Cuando se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$), las medias se separaron mediante la prueba de Tukey.

IV.- RESULTADOS

IV. RESULTADOS

4.1.- Experimento 1 ensayo 1

La mortalidad durante el periodo de crianza fue del 1,7%, considerada como normal en una recría comercial de futuras gallinas ponedoras y no se detectaron diferencias entre los tratamientos a lo largo del experimento. La mayor parte de la mortalidad (1,2%) ocurrió durante la primera semana del experimento. (datos no mostrados)

El porcentaje de pollitas con un PV inicial inferior a 33.0 g (un peso considerado mínimo por los productores de huevo), fue del 23% para el grupo de pollitas ligeras y del 0% para el grupo de pollitas pesadas.

No se detectó interacción alguna entre los efectos principales para ninguna de las variables estudiadas y por tanto, solo se presentan los efectos principales.

4.1.1.- Rendimientos productivos

El PV inicial de las pollitas no afectó ni a los rendimientos productivos ni a la uniformidad de las aves en ninguno de los períodos considerados (Tablas 9 y 10, respectivamente)

Tabla 9 Influencia del peso inicial y el tipo de corte de picos sobre el rendimiento productivo de las pollitas

	EFECTOS PRINCIPALES					SEM ³	Probabilidad ⁴	
	PV inicial ¹		Tratamiento de picos ²				PV Inicial	Trat. picos
	Ligeras	Pesadas	MI-0	AG-0	HB-8			
CMD, g								
0 a 5 semana	19.4	19.4	19.8 ^a	19.3 ^{ab}	19.1 ^b	0.15	0.898	0.003
5 a 10 semana	58.8	59.1	59.6	59.0	58.2	0.46	0.569	0.094
10 a 15 semana	70.7	71.4	72.0	71.0	70.2	0.74	0.450	0.270
GMD, g								
0 a 5 semana	8.9	8.9	9.0 ^a	8.8 ^b	8.8 ^b	0.08	0.897	0.023
5 a 10 semana	17.9	17.8	18.0	17.6	17.9	0.16	0.737	0.288
10 a 15 semana	11.2	11.4	11.3	11.3	11.2	0.16	0.153	0.826
IC, g/g								
0 a 5 semana	2.19	2.19	2.20	2.20	2.18	0.04	0.971	0.942
5 a 10 semana	3.29	3.34	3.33	3.34	3.28	0.05	0.413	0.563
10 a 15 semana	6.36	6.29	6.38	6.31	6.30	0.05	0.202	0.471
Acumulado (0 a 15 sem.)								
CMD, g	49.6	50.0	50.5 ^a	49.8 ^{ab}	49.2 ^b	0.35	0.445	0.038
GMD, g	12.6	12.7	12.8	12.6	12.6	0.09	0.541	0.246
ICR, g/g	3.95	3.94	3.97	3.95	3.92	0.03	0.755	0.458

^{a-b} Dentro de una línea, significa que sin un superíndice común difiere significativamente ($P < 0.05$)

¹Ligero = 33.9 ± 1.3 g PV; Pesado = 37.6 ± 1.2 g PV

Tratamiento de picos en incubadora con infrarrojos alto (48; MI-0) y bajo (46; AI-0) ajuste de intensidad mediante cuchilla en la granja a 8 d de edad (HB-8)

³n=36 para inicial PV y n=24 para procedimiento de corte de picos

⁴Las interacciones entre efectos principales y entre efectos principales y períodos de tiempo no fueron significativos. ($P > 0.05$)

Tabla 10. Influencia del peso vivo y del tipo de corte de picos sobre los resultados productivos y la uniformidad de PV de las pollitas. Experimento1, Ensayo 1

	EFECTOS PRINCIPALES						Probabilidad ⁵	
	PV inicial ²		Tipo de corte de picos ³			SEM ⁴	PV inicial	Tipo de corte de picos
	Ligeras	Pesadas	MI-0	AG-0	HB-8			
PV, g								
5 semana	345	348	352 ^a	343 ^b	343 ^b	2.69	0.338	0.019
10 semana	969	970	982	961	967	7.15	0.905	0.099
15 semana	1,384	1,408	1,423	1,374	1,391	16.63	0.200	0.010
UNI, %								
0 semana	3.8	3.9	3.8	3.9	3.8	0.21	0.349	0.732
5 semana	8.9	9.8	9.4	9.8	8.9	0.54	0.138	0.545
10 semana	7.4	7.9	8.2	7.2	7.6	0.56	0.418	0.427
15 semana	7.6	7.6	8.1	7.3	7.5	0.58	0.995	0.594

^{a-b} Dentro de una línea, significa que sin un superíndice común difiere significativamente ($P < 0.05$)

¹Evalua do como el CV (%) del PV individual de las pollitas d cada jaula (Peak et al., 2000)

¹Ligero = 33.9 ± 1.3 g PV; Pesado = 37.6 ± 1.2 g PV

Tratamiento de picos en incubadora con infrarrojos alto (48; MI-0) y bajo (46; AI-0) ajuste de intensidad mediante cuchilla en la granja a 8 d de edad (HB-8)

³n=36 para inicial PV y n=24 para procedimiento de corte de picos

⁴Las interacciones entre efectos principales y entre efectos principales y períodos de tiempo no fueron significativos. ($P > 0.05$)

De 0 a 5 semanas de edad, CMD fue mayor para las pollitas MI-0 que para las pollitas HB-8, siendo las pollitas AG-0 intermedias (19.8, 19.1 y 19.3 g, respectivamente; $P < 0.01$). Además, las pollitas MI-0 tuvieron mayor GMD que las pollitas AG-0 y HB-8 (9.0 frente a 8.8 y 8.8 g; $P < 0.05$).

Desde las 5 a las 10 semanas y desde las 10 a las 15 semanas de la edad, el corte del pico no tuvo ningún efecto en las pollitas, CMD, GMD y IC.

Como resultado, de 0 a 15 semanas de edad, CMD fue mayor para las pollitas MI-0 que para las pollitas HB-8, con las pollitas AG-0 intermedias (50.5, 49.2 y 49.8 g, respectivamente; $P < 0.05$). Sin embargo, la uniformidad de GMD, ICR y PV no se vio afectada por el procedimiento de corte de pico.

4.1.2.- Desarrollo del tracto gastrointestinal y medidas corporales

Los efectos principales del tipo de corte de picos Y PV al inicio sobre TGI, y peso de buche y molleja, y el pH de los órganos del TGI, se muestran en las tablas 11 y 12 respectivamente. Los datos sobre el TGI y la longitud del tarso se muestran en la tabla 13.

Ninguno de los pesos iniciales de pollitas ni el tipo de corte de picos afecta a las características de TGI ni de las medidas de cuerpo estudiados a cualquier edad.

4.1.3.- Conteo bacteriano a nivel de ciegos

El tratamiento no afectó el recuento de bacterias en la excreta a las 5 sem de edad (tabla 13)

Tabla 11. Influencia del peso vivo inicial y el tipo de corte de picos sobre el peso relativo y el contenido de digesta fresca del tracto gastrointestinal. Experimento 1 Ensayo 1

EFECTOS PRINCIPALES								
	PV inicial ¹		Tipo de corte de picos ²			SEM ³	Probabilidad ⁴	
	Ligeras	Pesadas	MI-0	AG-0	HB-8		PV Inicial	Corte de picos
TGI completo, PR								
5 semana	21.3	21.3	21.0	21.4	21.5	0.444	0.934	0.731
10 semana	16.7	16.2	16.0	16.5	16.8	0.444	0.377	0.410
15 semana	13.4	13.6	13.5	13.5	13.6	0.213	0.367	0.939
Buche, PR								
5 semana	4.01	3.98	4.03	3.90	4.06	0.369	0.934	0.949
10 semana	3.84	3.14	3.32	3.40	3.75	0.377	0.113	0.689
15 semana	2.00	1.96	1.93	2.06	1.96	0.383	0.911	0.966
Contenido Buche, %								
5 semana	45.2	45.5	45.8	44.4	45.7	3.531	0.941	0.954
10 semana	59.0	58.0	56.0	56.7	62.4	4.782	0.822	0.593
15 semana	57.5	58.0	55.2	60.7	57.4	3.023	0.881	0.426
Molleja, PR								
5 semana	5.02	5.08	5.01	5.11	5.03	0.071	0.463	0.539
10 semana	4.39	4.48	4.42	4.53	4.36	0.067	0.216	0.216
15 semana	3.50	3.59	3.56	3.52	3.55	0.071	0.269	0.905
Contenido molleja %								
5 semana	35.7	35.6	35.1	36.0	35.8	0.868	0.972	0.698
10 semana	29.8	30.3	29.2	30.2	30.8	0.890	0.596	0.420
15 semana	28.8	29.4	29.4	28.6	29.1	0.903	0.531	0.811

¹Ligeras = 33.9 ± 1.3 g PV; Pesadas = 37.6 ± 1.2 g PV

²Corte de picos con infrarrojo en incubadora ajustado a nivel alto (48; MI-0) y bajo (46; AI-0) o con cuchilla incandescente en granja a los 8 días de edad (HB-8)

³n=36 para PV inicial de pollitas y n=24 para tipo de corte de picos.

⁴Las interacciones entre efectos principales y entre efectos principales y períodos de tiempo no fueron significativos. (P > 0.05)

Tabla 12. Influencia del peso vivo inicial y el tipo de corte de picos sobre el pH del buche, molleja, íleon y ciegos a 5, 10 y 15 semanas de vida. Experimento 1, Ensayo 1

	Efectos principales					SEM ³	Probabilidad ⁴	
	PV inicial ¹		Tipo de corte de picos ²				PV inicial	Tipo de corte de picos
	Ligeras	Pesadas	MI-0	AG-0	HB-8			
Buche								
5 semana	5.67	5.65	5.60	5.70	5.68	0.079	0.944	0.583
10 semana	4.95	4.91	4.94	4.85	5.01	0.082	0.705	0.374
15 semana	4.31	4.39	4.26	4.38	4.41	0.083	0.460	0.426
Molleja								
5 semana	2.95	2.97	2.99	3.00	2.90	0.076	0.767	0.555
10 semana	2.78	2.85	2.84	2.80	2.81	0.078	0.508	0.811
15 semana	2.57	2.55	2.64	2.60	2.44	0.079	0.771	0.156
Íleon								
5 semana	6.77	6.78	6.80	6.81	6.72	0.045	0.822	0.254
10 semana	7.22	7.25	7.26	7.23	7.21	0.048	0.566	0.756
15 semana	6.92	6.92	7.00	6.88	6.88	0.049	0.892	0.107
Ciegos								
5 semana	5.33	5.35	5.28	5.37	5.37	0.060	0.753	0.537
10 semana	5.95	6.07	6.02	6.00	5.99	0.062	0.108	0.968
15 semana	6.21	6.14	6.16	6.24	6.13	0.063	0.273	0.440

¹Ligera = 33.9 ± 1.3 g PV; Pesada = 37.6 ± 1.2 g PV

²Tratamiento de pico con infrarrojo en incubadora con ajuste alto (48; MI-0) y bajo (46; AI-0) o corte de pico de cuchilla incandescente realizado en la granja a los 8 días de edad (HB-8)

³n = 36 para PV inicial de las pollitas y n = 24 para el tipo de corte de pico

⁴Las interacciones entre los efectos principales y entre los efectos principales y el período de tiempo no fueron significativas (P> 0.05)

Tabla 13. Influencia del PV inicial y el tipo de corte de picos en la longitud del ciego, intestino delgado y tarso de las pollitas. Experimento1, Ensayo 1

Ensayo	Efectos principales					SEM ³	Probabilidad ⁴	
	PV inicial ¹		Tipo de corte de picos ²				PV Inicial	Corte de picos
	Ligeras	Pesadas	MI-0	AG-0	HB-8			
Ciegos								
5 semana	29.3	29.3	28.9	29.6	29.4	0.405	0.991	0.378
10 semana	29.0	29.6	29.0	29.3	29.6	0.415	0.191	0.597
15 semana	23.5	23.1	22.9	23.6	23.4	0.421	0.362	0.423
SI								
5 semana	275.1	272.0	270.6	273.9	276.2	2.833	0.348	0.368
10 semana	116.0	118.4	115.1	117.7	118.8	2.906	0.461	0.648
15 semana	87.2	85.2	86.2	86.8	85.5	2.948	0.556	0.956
Tarso								
5 semana	14.1	13.9	14.0	14.0	14.0	0.125	0.192	0.988
10 semana	7.72	7.79	7.73	7.82	7.72	0.128	0.619	0.835
15 semana	5.91	5.67	5.75	5.92	5.69	0.129	0.106	0.432

¹Ligera = 33.9 ± 1.3 g PV; Pesada = 37.6 ± 1.2 g PV

²Tratamiento de pico con infrarrojo en incubadora con ajuste alto (48; MI-0) y bajo (46; AI-0) o corte de pico de cuchilla incandescente realizado en la granja a los 8 días de edad (HB-8)

³n = 36 para PV inicial de las pollitas y n = 24 para el tipo de corte de pico

⁴ Las interacciones entre los efectos principales y entre los efectos principales y el período de tiempo no fueron significativas (P> 0.05)

Tabla 14. Influencia del Peso vivo al nacimiento y el tipo de corte de picos sobre el recuento de bacterias (log10 UFC/g) en la excreta de pollitas a las 5 semanas de edad. Experimento 1, Ensayo 1

	Efectos Principales					SEM ³	Probabilidad ⁴	
	PV inicial ¹		Tipo de corte de picos ²				PV Inicial	Corte de picos
	Ligero	Pesado	MI-0	AG-0	HB-8			
Lactobacilo	7.56	7.60	7.61	7.51	7.62	0.137	0.779	0.806
Clostridium perfringens	2.08	1.92	1.88	2.08	1.99	0.252	0.576	0.745
Enterobacterias	7.95	7.96	8.08	7.77	8.03	0.116	0.968	0.135
Total coliformes	7.74	7.73	7.81	7.56	7.81	0.115	0.893	0.309
Escherichia coli ⁵	7.75	7.72	7.87	7.53	7.81	0.121	0.830	0.116

¹Ligera = 33.9 ± 1.3 g PV; Pesada = 37.6 ± 1.2 g PV

²Tratamiento de pico con infrarrojo en incubadora con ajuste alto (48; MI-0) y bajo (46; AI-0) o corte de pico de cuchilla incandescente realizado en la granja a los 8 días de edad (HB-8)

³n = 36 para PV inicial de las pollitas y n = 24 para el tipo de corte de pico

⁴ Las interacciones entre los efectos principales y entre los efectos principales y el período de tiempo no fueron significativas (P> 0.05)

⁵β-glucuronidasa (+)

4.2.- Experimento 1 ensayo 2

La mortalidad global durante el ensayo fue del 1,4% sin que se detectaran diferencias significativas entre los tratamientos a lo largo del experimento (datos no mostrados).

La mayor parte de la mortalidad (1,1%) ocurrió durante la primera semana de vida. El porcentaje de pollitas con un PV inferior a 33,0 g (peso mínimo considerado aceptable en pollitas a su entrada en granja por los productores) fue del 28% para las pollitas ligeras y 0% para las pollitas pesadas.

4.2.1.- Rendimientos productivos

Los datos sobre el rendimiento productivo de las pollitas y la uniformidad de PV, por semana se muestran en las tablas 15 y 16, respectivamente.

En el global de la prueba (0 a 6 sem de edad), el CMD fue mayor ($P < 0.01$) para las pollitas a las que se les cortó el pico mediante infrarojo en la incubadora que para las pollitas a las que se les cortó el pico en granja a los 8 d de edad (tabla 15) Sin embargo, el procedimiento utilizado para el corte de pico no afectó ni a la GMD ni a los IC.

Tabla 15. Influencia del peso vivo al nacimiento, tipo de corte de picos y de la inclusión de butirato de sodio en el pienso sobre la productividad de las pollitas de 0 a 6 semanas de edad. Experimento 1, Ensayo 2

Efectos principales											
PV inicial ¹		Tipo de corte de picos ²			Na-butirato		SEM ³	Probabilidad ⁴			
Ligero	Pesado	MI-0	AG-0	HB-8	0 %	0.3 %		PV inicial	Corte de picos	Na-butirato	
CMD, g											
0 a 1 semana	8.9	9.0	8.7 ^b	8.6 ^b	9.6 ^a	9.0	9.0	0.178	0.573	0.001	0.826
1 a 2 semana	14.8	14.6	15.2 ^a	15.2 ^a	13.7 ^b	14.6	14.8	0.307	0.435	0.001	0.474
2 a 3 semana	17.7	17.8	18.1 ^a	17.8 ^a	17.3 ^b	17.7	17.8	0.181	0.578	0.003	0.507
3 a 4 semana	24.1	24.5	24.7 ^a	24.4 ^a	23.7 ^b	24.2	24.4	0.204	0.109	0.005	0.498
4 a 5 semana	31.4	31.4	32.1	31.2	31.0	31.5	31.4	0.390	0.970	0.137	0.884
5 a 6 semana	41.6	41.1	42.1 ^a	41.5 ^{ab}	40.5 ^b	41.1	41.6	0.415	0.276	0.026	0.278
GMD, g											
0 a 1 semana	3.69	3.64	3.49 ^b	3.45 ^b	4.06 ^a	3.62	3.71	0.062	0.482	<.0001	0.226
1 a 2 semana	6.53	6.62	7.07 ^a	6.99 ^a	5.68 ^b	6.43	6.73	0.088	0.376	<.0001	0.004
2 a 3 semana	9.19	9.11	9.16	9.08	9.20	9.11	9.18	0.110	0.529	0.743	0.612
3 a 4 semana	11.3	11.5	11.6	11.3	11.4	11.4	11.5	0.106	0.176	0.292	0.658
4 a 5 semana	13.4	13.5	13.7	13.3	13.4	13.4	13.5	0.210	0.832	0.367	0.583
5 a 6 semana	17.3	17.3	17.6	17.1	17.4	17.0	17.6	0.312	0.999	0.625	0.098
IC, g/g											
0 a 1 semana	2.43	2.50	2.52 ^a	2.50 ^a	2.37 ^b	2.50	2.42	0.036	0.114	0.008	0.074
1 a 2 semana	2.29	2.21	2.15 ^b	2.18 ^b	2.42 ^a	2.28	2.22	0.036	0.071	<.0001	0.161
2 a 3 semana	1.92	1.96	1.98	1.97	1.88	1.94	1.94	0.036	0.428	0.084	0.993
3 a 4 semana	2.12	2.13	2.14	2.15	2.08	2.12	2.13	0.036	0.874	0.406	0.911
4 a 5 semana	2.35	2.33	2.34	2.36	2.31	2.36	2.33	0.036	0.708	0.651	0.487
5 a 6 semana	2.41	2.39	2.41	2.44	2.35	2.43	2.37	0.037	0.554	0.271	0.225
Acumulado											
De (0 a 6 semana)											
CMD, g	23.1	23.1	23.5 ^a	23.1 ^a	22.6 ^b	23.0	23.2	0.163	0.856	0.003	0.397
GMD, g	10.3	10.3	10.4	10.2	10.2	10.2	10.4	0.098	0.794	0.187	0.073
IC, g/g	2.25	2.25	2.26	2.27	2.24	2.27	2.24	0.016	0.928	0.472	0.069

^{a-b}Dentro de la misma línea, los resultados sin superíndice común difieren significativamente ($P < 0.05$)

¹Ligeras = 34.2 g PV; Pesadas = 37.9 g PV

²Tratamiento de pico con infrarrojo en incubadora con ajuste alto (48; MI-0) y bajo (46; AI-0) o corte de pico de cuchilla incandescente realizado en la granja a los 8 días de edad (HB-8)

³n=18 para la inclusión de Butirato de sodio y PV inicial de las pollitas y n=24 para tipo de corte de picos

⁴Las interacciones entre los efectos principales no fueron significativas ($P > 0.05$)

Tabla 16 Influencia del peso vivo al nacimiento, tipo de corte de picos e inclusión de Na-butirato en el pienso sobre la productividad y la uniformidad del peso de las pollitas de 0 a 6 semanas de edad. Experimento 1, Ensayo 2

		Efectos principales										
		PV inicial ²		Tipo de corte de picos ³			Butirato-Na		Probabilidad ⁵			
		Ligeras	Pesadas	MI-0	AG-0	HB-8	0 %	0.3 %	SEM ⁴	PV inicial	Tipo de corte de picos	Butirato-Na
PV ⁴ , g	1 semana	60	63	60 ^b	60 ^b	64 ^a	61	62	0.60	<.0001	<.0001	0.110
	2 semana	106	110	110 ^a	109 ^a	104 ^b	106	109	1.02	0.001	0.0003	0.015
	3 semana	170	173	174 ^a	172 ^{ab}	169 ^b	170	173	1.32	0.027	0.018	0.032
	4 semana	249	254	255	252	249	250	254	1.83	0.028	0.058	0.070
	5 semana	344	349	351	345	343	344	348	2.75	0.115	0.097	0.135
	6 semana	465	469	473	463	464	463	471	4.23	0.375	0.164	0.096
Uniformidad PV, %												
	0 semana	3.8	3.9	3.7	3.9	3.9	3.8	3.9	0.20	0.497	0.743	0.855
	1 semana	9.2	9.1	9.4 ^{ab}	10.9 ^a	7.3 ^b	9.1	9.2	0.50	0.915	<.0001	0.807
	2 semana	11.5	10.4	10.9	11.6	10.4	11.2	10.7	0.69	0.177	0.434	0.555
	3 semana	10.0	10.5	10.5	10.7	9.7	10.2	10.4	0.53	0.422	0.390	0.707
	4 semana	9.8	10.4	10.1	10.7	9.5	10.1	10.0	0.53	0.316	0.277	0.843
	5 semana	9.0	9.8	9.6	9.8	8.9	9.5	9.3	0.55	0.230	0.535	0.709
	6 semana	8.8	9.8	9.4	9.3	9.2	9.7	8.9	0.57	0.125	0.964	0.245

^{a-b} Dentro de la misma línea, los resultados sin superíndice común difieren significativamente (P < 0.05)

¹ Evaluado como el CV (%) del PV individual de las pollitas de cada jaula (Peak et al., 2000)

² Ligeras = 33.9 ± 1.3 g PV; Pesadas = 37.6 ± 1.2 g PV

³ Tratamiento de pico con infrarrojo en incubadora con ajuste alto (48; MI-0) y bajo (46; AI-0) o corte de pico de cuchilla incandescente realizado en la granja a los 8 días de edad (HB-8)

⁴ n=36 para inclusión de Butirato-Na y PV inicial de las pollitas y n=24 para el método de corte de picos

⁵ β-glucuronidasa (+)

Se detectaron varias interacciones en la productividad de las pollitas al crecimiento entre el corte del pico y la edad (Figura 9).

Figura 9. Interacción entre tipo de corte de picos sobre la productividad de las pollitas. Experimento 1 Ensayo 2

Durante la primera semana de vida, las pollitas del grupo HB-8 (no cortadas en la incubadora sino en granja con cuchilla incandescente) mostraron mayor CMD y GMD ($P < 0,001$) y mejor IC ($P < 0,01$) que las pollitas del MI-0 y AG-0 (cortados en la incubadora con infrarrojos).

De 1 a 2 semanas de edad, sin embargo, se observó un efecto opuesto, las pollitas con el pico cortado en la incubadora (grupos MI-0 y AG-0) mostraron mayor CMD y GMD y mejor IC ($P < 0.001$) que las pollitas con el pico cortado el día 8 en la granja (grupo HB-8). Como consecuencia, de 0 a 4 semanas de edad, las pollitas más pesadas en la incubadora tuvieron mayor peso corporal que las ligeras (254 vs. 249 g; $P < 0.05$) pero no se observaron interacciones después de esta edad.

La uniformidad de PV no se vio afectada por el procedimiento de corte de pico a ninguna edad, excepto a los 7 d de edad en los cuales las pollitas no cortadas (grupo HB-8) mostraron una mayor uniformidad que las pollitas AG-0, con las pollitas MI-0 en una posición intermedia (7.3, 10.9 y 9.4%, respectivamente; $P < 0.001$) (Tabla 16).

La inclusión de butirato de Na en la dieta tendió a mejorar GMD ($P = 0.073$) y IC ($P = 0.069$) de 0 a 6 semanas de edad (Tabla 16), pero la uniformidad de PV no se vio afectada (Tabla 16). La mayoría de los beneficios de la inclusión de Na-butirato en el rendimiento productivo y la eficiencia de la alimentación se observaron durante las primeras 2 semanas de vida.

4.2.2.- Concentración de ácidos grasos volátiles en buche e íleon

La producción total de AGV y el perfil de AGV en el buche y el íleon se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Influencia de peso vivo al nacimiento, tipo de corte de picos y de la inclusión de Butirato-Na en el pienso sobre la producción de ácidos grasos volátiles (mmol/ml) en buche e íleon de las pollitas a las 6 semanas de edad. Experimento 1, Ensayo 2

	Efectos principales								Probabilidad ⁴		
	PV inicial ¹		Tipo de corte de picos ²			Butirato-Na					
	Ligeras	Pesadas	MI-0	AG-0	HB-8	0%	0.3%	SEM ³	PV inicial	Tipo de corte de picos	Butirato-Na
Buche											
Acetato	9.10	10.5	9.08	9.28	11.0	10.5	9.13	1.324	0.358	0.502	0.371
Propionato	0.67	0.69	0.68	0.63	0.72	0.72	0.63	0.055	0.752	0.496	0.135
Butirato	2.16	2.55	2.16	2.08	2.82	1.01	3.69	0.267	0.212	0.115	<.0001
Isovalerato	0.10	0.08	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09	0.012	0.211	0.809	0.584
Total AGV	12.1	13.9	12.1	12.1	14.8	12.4	13.6	1.391	0.273	0.288	0.448
Íleon											
Acetato	9.08	10.9	10.1	10.7	9.14	10.5	9.46	1.311	0.232	0.694	0.485
Propionato	0.18	0.15	0.17	0.17	0.17	0.20	0.13	0.041	0.628	0.999	0.131
Butirato	0.03	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.019	0.658	0.654	0.559
Isovalerato	0.004	0.009	0.01	0.01	0.00	0.009	0.004	0.006	0.404	0.390	0.404
Total AGV	9.48	11.1	10.3	11.0	9.56	10.9	9.62	1.406	0.310	0.764	0.400

¹Ligeras = 33.9 ± 1.3 g PV; Pesadas = 37.6 ± 1.2 g PV

² Tratamiento de pico con infrarrojo en incubadora con ajuste alto (48; MI-0) y bajo (46; AI-0) o corte de pico de cuchilla incandescente realizado en la granja a los 8 días de edad (HB-8)

³ n=36 para inclusión de Butirato-Na y PV inicial de las pollitas y n=24 para el método de corte de picos.

⁴Las interacciones entre los efectos principales y entre los efectos principales y el período de tiempo no fueron significativas (P> 0.05)

El peso inicial corporal y el corte de picos no afectaron la concentración ni al perfil de AGV de los contenidos del buche o íleon a las 6 semanas de edad.

Sin embargo, la inclusión de butirato de Na al 0,3% en la dieta aumentó (P <0,001) la proporción de butirato en el buche.

4.3.- Experimento2, Ensayo 3

En cuanto al tamaño de partícula con la inclusión de la cascarilla de avena podemos decir que el GMD $\pm$ GSD de la cascarilla de avena (CA), fue de $893 \pm 1.71 \mu\text{m}$ (Tabla 18). La GMD $\pm$ GSD de las dietas de control utilizadas para las 3 fases de alimentación fue 946 ± 3.0 , 1.011 ± 2.2 y $1.158 \pm 2.2 \mu\text{m}$, respectivamente (Tabla 19). La inclusión de CA no afectó al diámetro medio geométrico (GMD) ni a la Desviación geométrica estándar (GSD) de los piensos.

Tabla 18. Análisis químico y propiedades fisico-químicas de la cascarilla de avena

Análisis calculados¹	
AME _n (kcal/kg)	400
Extracto etéreo	1.3
Almidón	8.7
Proteína bruta	4.1
Aminoácidos totales	
Lys	0.16
Met + Cys	0.14
Thr	0.15
Trp	0.05
Calcio	0.10
Fósforo total	0.17
Análisis determinados²	
Materia seca	91.7
Energía bruta (kcal/kg)	4,022
Fibra bruta	30.1
Proteína bruta	4.3
NDF	69.0
ADF	36.4
ADL	8.4
Cenizas totales	4.7
Propiedades físicas	
Distribución del tamaño de partícula ³ (μm)	
2,500	0.7
1,250	23.1
630	56.9
315	13.7
160	0.02
GMD ⁴ ± GSD ⁵ (μm)	893 ± 1.71
Capacidad de retención de agua ± SD (mL/g DM)	3.96 ± 0.75
Capacidad de retención de agua ± SD (mL/g DM)	1.87 ± 0.16
Propiedades Buffer (tampon)	
pH inicial ⁶ ± SD	6.11 ± 0.03
Capacidad Bufer Base (tampon base) ⁷ ± SD	86.0 ± 6.1
Capacidad Bufer Acido (tampon ácida) ⁸ ± SD	65.4 ± 5.0

¹Según FEDNA (2010).²Analizado por duplicado, a excepción del tamaño medio de partícula que se determinó por triplicado.³Diámetro del tamiz, μm. El porcentaje de partículas mayores de 5,000 μm o menores de 80 μm fue insignificante para todas las dietas⁴Diámetro medio geométrico.⁵Desviación estándar geométrica.⁶pH de 0.5 g de la fuente de fibra (DM) suspendido en 50 mL de agua doblemente destilada.⁷μEq de NaCA requeridos para aumentar el pH de 0,5 g de MS de la fuente de fibra suspendida en 50 ml de agua doblemente destilada desde el pH inicial a pH 7 dividido por el cambio de pH..⁸μEq de HCl requeridos para disminuir el pH de 0,5 g de MS de la fuente de fibra suspendida en 50 ml de agua doblemente destilada de pH 7 a pH 4 dividido por el cambio de pH

Tabla 19. Composición y análisis físico-químico de los piensos experimentales. Experimento 2 Ensayo 3

Cascarilla de avena	0 a 5 semanas		5 a 10 semanas		10 a 16 semanas	
	0%	3%	0%	3%	0%	3%
Ingredientes						
Cebada	-	-	40.0	38.8	25.0	24.3
Maíz	62.6	60.8	35.8	34.7	49.9	48.4
Harina de soja (45.5% PB)	33.1	32.0	21.2	20.6	7.0	6.8
Harina de girasol (30% PB)	-	-	-	-	15.3	14.8
Oleínas de soja	1.00	0.97	-	-	-	-
Cascarilla de avena	-	3.00	-	3.00	-	3.00
Carbonato cálcico	1.00	0.97	1.00	0.97	1.03	1.00
Fosfato bicálcico	1.50	1.46	1.30	1.26	1.10	1.07
Cloruro de sodio	0.35	0.34	0.34	0.33	0.37	0.36
Premix vitamínico mineral ¹	0.20	0.19	0.20	0.19	0.20	0.19
DL-metionina (99%)	0.16	0.16	0.13	0.13	0.03	0.03
L-lisina·HCl (78%)	0.09	0.09	0.05	0.05	0.07	0.07
L-treonina (98%)	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-
Análisis calculados²						
AME _n (kcal/kg)	2,900	2,834	2,779	2,708	2,708	2,639
Extracto etéreo	3.7	3.6	2.3	2.2	2.4	2.4
NDF	8.6	10.4	11.9	13.7	15.5	17.1
Proteína bruta	19.9	19.4	17.0	16.6	14.4	14.1
Aminoácidos digestibles³						
Lys	0.98	0.95	0.74	0.72	0.51	0.49
Met	0.43	0.42	0.35	0.34	0.26	0.25
Met + Cys	0.69	0.68	0.60	0.59	0.47	0.46
Thr	0.65	0.63	0.52	0.51	0.42	0.40
Trp	0.20	0.19	0.17	0.16	0.13	0.13
Ile	0.73	0.71	0.58	0.57	0.46	0.45
Calcio	0.92	0.96	0.85	0.83	0.82	0.80
Fosforo total	0.63	0.61	0.58	0.57	0.58	0.57
Fósforo digestible	0.42	0.41	0.39	0.38	0.36	0.35
Análisis determinados⁴						
Materia seca	87.8	88.3	90.4	91.7	90.8	91.2
Energía Bruta (kcal/kg)	3,880	3,900	3,950	4,025	3,935	3,925
Proteína bruta	19.4	18.8	17.6	17.5	15.5	15.1
Fibra bruta	3.0	3.8	3.7	4.5	6.5	7.2
NDF	8.9	10.6	11.7	13.5	15.0	16.8
ADF	3.7	3.8	3.9	4.3	5.8	6.5
ADL	0.6	0.7	0.7	0.9	2.0	2.1
Cenizas totales	4.8	4.9	5.8	5.5	5.1	5.6
Dist.tamaño partícula⁵ (µm)						
2500	5.8	5.5	9.1	9.0	19.3	21.2
1250	35.3	34.7	35.5	42.5	30.3	32.5
630	33.1	36.8	31.2	27.4	26.6	24.9
315	13.7	13.7	13.7	12.6	17.6	14.0
160	12.1	9.3	10.5	8.5	6.2	7.4
GMD ⁶ ± GSD ⁷	946 ± 3.0	977 ± 2.9	1,011 ± 2.2	1,106 ± 2.1	1,158 ± 2.2	1,222 ± 2.3

¹Suministrado por kilogramo de dieta: vitamina A (acetato de trans-retinilo), 10,000 UI; vitamina D3 (colecalciferol), 3,500 UI; vitamina E (acetato de todo-tocoferol-rac), 35 mg; tiamina, 2 mg; riboflavina, 8 mg; piridoxina, 4 mg; cianocobalamina, 0.025 mg; vitamina K3 (complejo bisulfato de menadiona), 3 mg; colina (cloruro de colina), 270 mg; ácido nicotínico, 60 mg; ácido pantoténico (pantotenato de D-calcio), 15 mg; ácido fólico, 1.5 mg; D-biotina, 0.15 mg; zinc (ZnO), 90 mg; manganeso (MnO), 75 mg; hierro (FeCO₃), 60 mg; cobre (CuSO₄ · 5H₂O), 8 mg; yodo (KI), 2 mg; selenio (Na₂SeO₃), 0.3 mg; Roxazima, 200 mg [1,600 UI de endo-1,4-β-glucanasa (EC 3.2.1.4), 3,600 UI de endo-1,3 (4) -β-glucanasa (EC 3.2.1.6) y 5,200 UI de endo-1,4-β-xilanas (EC 3.2.1.8)] suministrada por DSM SA, Madrid, España; y Natuphos 5000 [300 FTU / kg 6-fitasa (EC 3.1.3.26), 60 mg, suministrado por Basf Española S.A, Tarragona, España

³ Valores de retención aparente en el total del tracto digestivo.

²Según FEDNA (Fundación Española Desarrollo Nutrición Animal, 2010).

⁴Analizado por duplicado a excepción del tamaño medio de partícula que se analizó por triplicado.

⁵Diámetro del tamiz, μm . El porcentaje de partículas mayores de 5.000 μm o menores de 80 μm fue insignificante para todas las dietas

⁶GMD = diámetro medio geométrico.

⁷GSD = Desviación geométrica estándar

4.3.1.- Efecto del estrés sobre el rendimiento de las pollitas

Las condiciones de estrés aplicadas a las pollitas durante los primeros días de vida afectaron a Consumo medio diario (CMD) y Ganancia de peso vivo diario (GPV) de las aves durante todo el período de crianza (Tablas 20 y 21).

Tabla 20. Influencia del peso del huevo preincubación y de la inclusión de cascarilla de avena en el pienso sobre el peso vivo y la uniformidad de las pollitas de 5, 10 y 16 semanas de vida

	Al nacimiento		5 semanas		10 semanas		16 semanas	
	PV, g	UNI	PV, g	UNI	PV, g	UNI	PV, g	UNI
PH								
47.0-47.9 g	32.5	2.7	256	13.0	735	11.8	1,394	9.0
48.0-48.9 g	33.1	3.1	268	12.8	746	11.0	1,401	9.2
49.0-49.9 g	33.3	3.0	263	12.5	728	12.2	1,399	8.3
50.0-50.9 g	33.6	3.0	269	12.0	743	12.3	1,408	8.2
51.0-51.9 g	35.0	3.0	271	11.4	738	10.5	1,382	9.0
52.0-52.9 g	35.6	2.7	267	11.4	727	10.2	1,375	8.8
53.0-53.9 g	35.8	2.8	272	12.3	741	12.1	1,393	9.5
Cascarilla								
avena								
0%	34.1	2.9	266	12.4	735	11.3	1,392	9.3
3%	34.2	3.1	269	12.1	739	12.1	1,395	8.9
SD ²	0.53	0.42	12.3	1.72	29.1	2.46	42.1	1.76
Probabilidad ³								
PH								
L ⁴	<.001	0.545	0.022	0.060	0.868	0.615	0.351	0.706
Q ⁵	0.478	0.149	0.364	0.200	0.944	0.795	0.757	0.169
Cascarilla								
avena	0.921	0.108	0.355	0.251	0.630	0.095	0.779	0.507

¹La uniformidad del PV se estimó como el coeficiente de variación (CV; %) del PV individual de las pollitas dentro de cada réplica (Peak et al., 2000).

²Desviación Estándar (8 o 28 réplicas de 12 aves cada una para los efectos principales de PH y de cascarilla de avena, respectivamente).

³Las interacciones entre los efectos principales no fueron significativas ($P > 0.05$).

⁴Lineal.

⁵Cuadrático

Tabla 21. Influencia del peso del huevo preincubación y de la inclusión de cascarilla de avena en el pienso sobre el rendimiento productivo de las pollitas de 0 a 16 semanas de edad.

	0 a 5 semanas			5 a 10 semanas			10 a 16 semanas			0 a 16 semanas		
	CMD, g	GPV, g/d	IC ¹	CMD, g	GPV, g/d	IC	CMD, g	GPV, g/d	IC	CMD, g	GPV, g/d	IC
PH												
47.0-47.9 g	16.8	6.41	2.62	49.0	13.7	3.58	80.2	15.7	5.12	50.7	12.2	4.17
48.0-48.9 g	17.8	6.71	2.65	49.5	13.7	3.64	81.0	15.6	5.20	51.4	12.2	4.21
49.0-49.9 g	17.6	6.58	2.68	48.7	13.1	3.71	78.9	16.0	4.93	51.1	12.2	4.19
50.0-50.9 g	17.6	6.73	2.61	49.4	13.5	3.66	80.9	15.8	5.12	51.3	12.3	4.18
51.0-51.9 g	17.8	6.76	2.63	48.5	13.3	3.64	77.1	15.3	5.04	49.6	12.0	4.13
52.0-52.9 g	17.6	6.73	2.62	49.0	13.1	3.73	80.5	15.4	5.24	51.0	12.0	4.26
53.0-53.9 g	17.6	6.76	2.60	48.0	13.4	3.60	78.6	15.5	5.07	50.0	12.1	4.13
Cascarilla de avena												
0%	17.3	6.64	2.60	48.4	13.4	3.62	79.5	15.6	5.10	50.3	12.1	4.15
3%	17.8	6.70	2.66	49.3	13.4	3.69	79.7	15.7	5.11	50.1	12.2	4.19
SD ²	0.89	0.33	0.11	2.57	0.71	0.23	5.21	0.76	0.38	2.51	0.38	0.21
Probabilidad ³												
PH												
L ⁴	0.191	0.043	0.399	0.352	0.201	0.687	0.436	0.311	0.926	0.458	0.294	0.939
Q ⁵	0.156	0.329	0.479	0.626	0.432	0.317	0.888	0.585	0.647	0.844	0.823	0.971
Cascarilla	0.024	0.511	0.044	0.176	0.969	0.282	0.848	0.862	0.923	0.399	0.752	0.495

¹Índice de conversión de pienso.

²Desviación Estándar (8 o 28 réplicas de 12 aves cada una para los efectos principales de PH y cascarilla de avena respectivamente).

³Las interacciones entre los efectos principales no fueron significativas (P > 0.05).

⁴Lineal.

⁵Cuadrático

A las 5 semanas de edad, como promedio, el peso corporal de las pollitas fue 27% menor (268 g vs. 367 g) de lo esperado según la guía de Lohmann (2018). A medida que las aves envejecían, la diferencia en PV entre los valores determinados y esperados se redujo, pero aún era evidente a las 10 semanas (738 g vs. 874 g) y a las 16 semanas (1,330 g vs. 1,394 g) de edad.

El corte del pico mediante cuchilla incandescente a los 18 días de edad redujo considerablemente ($P < 0,001$) el CMD de las pollitas (Tabla 22). De hecho, la reducción en CMD observada entre los 3 días después del corte (18 a 21 días de edad) y los 3 días antes del corte (15 a 18 días de edad) fue de 46.5% como promedio (12.3 g / d vs. 23.0 g / d).

Tabla 22. Influencia del peso del huevo preincubación y la inclusión de cascarilla de avena sobre el consumo de pienso de las pollitas previo y posterior al corte de picos a los 18 días de edad

	15 hasta 18 d	18 hasta 21 d
PH		
47.0-47.9 g	20.6	10.7
48.0-48.9 g	20.2	11.4
49.0-49.9 g	19.8	11.9
50.0-50.9 g	20.6	10.6
51.0-51.9 g	21.1	11.3
52.0-52.9 g	20.4	10.8
53.0-53.9 g	20.7	10.5
Cascarilla avena		
0%	20.4	11.1
3%	21.2	10.9
SD ¹	2.222	1.444
Probabilidad ²		
PH		
L ³	0.615	0.411
Q ⁴	0.622	0.234
Cascarilla avena	0.210	0.683
Edad	<.001	

¹Desviación estándar (8 o 28 réplicas de 12 aves cada una para los efectos principales de PH e inclusión de cascarilla de avena respectivamente).

²Las interacciones entre los efectos principales y la edad de las pollitas no fue significativa ($P > 0.05$).

³Lineal.

⁴Quadrática

4.3.2.- Rendimientos productivos

La mortalidad fue del 2,7% y no se relacionó con el tratamiento (datos no mostrados). La mayor parte de la mortalidad (2,5%) ocurrió durante la primera semana de edad. No se detectaron interacciones entre el PH en la eclosión y la inclusión de CA en la dieta sobre el rendimiento productivo a cualquier edad y, por lo tanto, solo se presentan los efectos principales.

4.3.2.1.- Efecto del peso del huevo preincubación

La relación entre el peso vivo de las pollitas al nacimiento y el peso del huevo varió de 69 a 67% para el grupo de peso de huevo más pequeño y más grande respectivamente.

El peso corporal de las pollitas al nacimiento ($P < 0,001$) y a las 5 semanas de edad ($P < 0,05$) aumentó linealmente a medida que aumentaba la PH, pero no se detectaron diferencias a las 10 y 16 semanas de edad (Tabla 20). La uniformidad del peso corporal a las 5 semanas de edad, tendió a aumentar ($P = 0.060$) a medida que el PH aumentó, pero no se detectaron diferencias después de esta edad. La ingesta de alimento, IC, CMD, consumo medio diario de energía (CMDE) o índice de conversión energética (ICE) de las pollitas no fueron afectadas por PH a ninguna edad (Tablas 21 y 23).

Tabla 23. Influencia de peso del huevo preincubación y la inclusión de cascarilla de avena en el pienso sobre el consumo medio energético diario (CMED) y el índice de conversión energética de las pollitas (ICE) de 0 a 16 semanas de edad

	0 a 5 semana		5 a 10 semana		10 a 16 semana		0 a 16 semana	
	CMDE	ICE	CMDE	ICE	CMDE	ICE	CMDE	ICE
PH								
47.0-47.9 g	48.1	7.51	136.0	9.9	217.4	13.9	139.1	11.4
48.0-48.9 g	50.9	7.59	137.4	10.1	219.5	14.1	141.2	11.6
49.0-49.9 g	50.3	7.66	135.0	10.3	213.9	13.4	138.1	11.4
50.0-50.9 g	50.3	7.48	137.2	10.1	219.6	13.9	140.9	11.5
51.0-51.9 g	50.9	7.52	134.4	10.1	209.1	13.7	136.3	11.3
52.0-52.9 g	50.4	7.50	135.8	10.4	218.2	14.2	140.0	11.7
53.0-53.9 g	50.4	7.45	133.1	10.0	213.1	13.8	137.2	11.3
Cascarilla avena								
0%	50.1	7.54	136.0	10.2	218.5	14.0	140.1	11.6
3%	50.3	7.51	135.1	10.1	213.1	13.7	137.9	11.4
SD ¹	2.55	0.31	7.14	0.64	14.1	1.04	6.89	0.56
Probabilidad ²								
PH								
L ³	0.198	0.401	0.343	0.796	0.439	0.934	0.454	0.981
Q ⁴	0.151	0.490	0.612	0.321	0.909	0.665	0.805	0.978
Cascarilla avena	0.699	0.751	0.639	0.679	0.159	0.190	0.238	0.169

¹Desviación estándar (8 o 28 réplicas de 12 aves cada una para los efectos principales de PH y cascarilla de avena respectivamente).

²La interacción entre los efectos principales no fue significativa (P > 0.05).

³Lineal.

⁴Quadratica.

4.3.2.2.- Efecto de la inclusión de fibra.

La inclusión de cascarilla de avena no afectó ni al peso vivo de la pollita ni a su uniformidad a ninguna edad (Tabla 20).

De 0 a 5 semanas de edad, la inclusión de la fibra aumentó el CMD (17.8 g vs. 17.3 g; $P < 0.05$) y el IC decrece (2.66 vs. 2.60; $P < 0.05$), pero la GPV, CMDE o ICE no se vieron afectados (Tablas 21 y 23, respectivamente). De hecho, a pesar del menor contenido de EMAn de la dieta rica en fibra, no se observaron efectos de la inclusión de CA en ninguna de las características de crecimiento estudiadas a las 10 o 16 semanas de edad (Tabla 20).

4.3.3.- Características del tracto gastrointestinal y medidas corporales

No se detectaron interacciones entre el peso del huevo en incubadora y la inclusión de CA en la dieta a ninguna edad en ninguno de las características del TGI o características corporales estudiadas y, por lo tanto, solo se presentan los efectos principales.

4.3.3.1.- Efecto del peso del huevo preincubación

A las 5 semanas de edad, el peso relativo (PR) del TGI y la longitud relativa del tarso disminuyeron linealmente ($P < 0.05$) con aumentos en el PH pero no se observaron diferencias después de esta edad (Tabla 24).

El peso relativo y el pH del buche y molleja, y el peso relativo del contenido de la digesta reciente de la molleja, no se vieron afectados por el PH a ninguna edad (tablas 25 y 26). No se detectaron diferencias en la longitud relativa o el pH del intestino delgado o ciego a ninguna edad (tabla 27).

Tabla 24. Influencia del peso del huevo preincubación e inclusión de cascarilla de avena en el pienso sobre el peso del tracto gastrointestinal y la longitud del tarso

	5 semana			10 semana			16 semana		
	PV ¹	TGI	Tarso	PV	TGI	Tarso	PV	TGI	Tarso
	(g)	(PR)	(LR)	(g)	(PR)	(LR)	(g)	(PR)	(LR)
PH									
47.0-47.9 g	270	18.6	1.53	731	16.8	0.96	1,391	12.9	0.71
48.0-48.9 g	284	18.2	1.49	786	16.8	0.92	1,417	12.7	0.70
49.0-49.9 g	277	18.1	1.51	761	17.2	0.92	1,401	12.3	0.72
50.0-50.9 g	285	18.6	1.46	762	16.9	0.93	1,376	13.0	0.72
51.0-51.9 g	289	17.8	1.43	767	17.0	0.94	1,408	13.4	0.70
52.0-52.9 g	290	18.0	1.42	757	17.3	0.93	1,437	13.2	0.69
53.0-53.9 g	298	17.6	1.41	740	17.2	0.95	1,385	12.8	0.72
Cascarilla de avena									
0%	279	18.0	1.48	752	17.1	0.93	1,414	12.8	0.71
3%	290	18.3	1.44	763	17.2	0.93	1,390	13.0	0.71
SD ²		0.77	0.16		0.83	0.08		1.14	0.03
	Probabilidad ³								
PH									
L ⁴		0.019	0.047		0.195	0.897		0.365	0.460
Q ⁵		0.062	0.142		0.432	0.614		0.662	0.755
Cascarilla de avena		0.012	0.359		0.762	1.000		0.667	0.373

¹PV corresponde al promedio de las dos aves sacrificadas a esta edad y no al PV promedio de todas las aves de cada tratamiento.²Desviación estándar (8 o 28 réplicas de 12 aves cada una para los efectos principales de PH y cascarilla de avena respectivamente).³La interacción entre los efectos principales no fue significativa ($P > 0.05$).⁴Lineal. ⁵Quadrática

Tabla 25. Influencia del peso del huevo preincubación y de la inclusión de cascarilla de avena en el pienso sobre el peso y el pH del buche

	5 semana		10 semana		16 semana	
	PR	pH	PR	pH	PR	pH
PH						
47.0-47.9 g	2.24	5.48	1.85	4.83	1.50	4.28
48.0-48.9 g	1.95	5.17	1.84	4.97	0.87	4.40
49.0-49.9 g	2.20	5.33	1.93	4.98	1.23	4.67
50.0-50.9 g	2.21	5.07	2.23	5.06	1.39	4.35
51.0-51.9 g	2.06	5.50	2.35	5.03	1.41	4.35
52.0-52.9 g	2.12	5.16	2.28	4.95	1.16	4.37
53.0-53.9 g	2.12	5.32	2.23	5.04	0.91	4.43
Cascarilla av.						
0 %	2.12	5.31	2.19	4.95	1.29	4.37
3 %	2.13	5.27	2.01	5.01	1.13	4.44
SD ¹	1.04	0.496	0.953	0.264	0.775	0.385
			Probabilidad ²			
PH						
L ³	0.930	0.722	0.163	0.194	0.478	0.997
Q ⁴	0.954	0.389	0.658	0.204	0.590	0.316
Cascarilla av.	0.936	0.789	0.486	0.393	0.452	0.309

¹Desviación estándar (8 o 28 réplicas de 12 aves cada una para los efectos principales de PH y cascarilla de avena respectivamente).

²La interacción entre los efectos principales no fue significativa ($P > 0.05$).

³Lineal.

⁴Quadrática

Tabla 26. Influencia del peso del huevo preincubación y de la inclusión de cascarilla de avena en el pienso sobre el desarrollo de la molleja

	5 semana			10 semana			16 semana		
	RW	Contenido	pH	RW	Contenido	pH	RW	Contenido	pH
PH									
47.0-47.9 g	5.77	34.0	1.82	4.92	28.4	2.71	3.66	26.4	2.89
48.0-48.9 g	5.64	33.1	1.93	4.52	28.3	2.92	3.74	28.8	2.69
49.0-49.9 g	5.72	33.0	1.75	5.04	28.3	3.07	3.56	25.9	3.00
50.0-50.9 g	5.68	34.2	1.90	4.66	29.3	2.83	3.67	25.7	2.85
51.0-51.9 g	5.54	34.1	1.96	4.65	29.2	2.96	3.82	28.9	2.80
52.0-52.9 g	5.69	34.0	2.00	5.08	30.2	2.81	3.89	28.8	2.85
53.0-53.9 g	5.53	33.6	1.84	4.85	28.9	3.04	3.88	26.4	2.99
C. avena									
0 %	5.31 ^b	33.8	1.98	4.60 ^b	29.7	2.97	3.55 ^b	27.7	2.92
3 %	6.00 ^a	33.7	1.79	5.03 ^a	28.2	2.84	3.94 ^a	26.8	2.81
SD ¹	0.389	3.14	0.37	0.435	3.21	0.337	0.461	3.56	
					Probabili				
PH									
L ³	0.292	0.764	0.55	0.503	0.324	0.307	0.166	0.663	0.51
Q ⁴	0.859	0.981	0.72	0.460	0.764	0.539	0.555	0.802	0.54
C. avena	0.001	0.872	0.05	0.001	0.081	0.149	0.003	0.368	0.15

¹Desviación estándar (8 o 28 réplicas de 12 aves cada una para los efectos principales de PH y cascarilla de avena respectivamente).

²La interacción entre los efectos principales no fue significativa ($P > 0.05$).

³Lineal.

⁴Quadrática

Tabla 27 Influencia del peso del huevo preincubación y de la inclusión de cascarilla de avena en el pienso sobre la longitud y el desarrollo de íleon y ciego

	Longitud relativa						pH					
	Intestino delgado			Ciegos			Íleon			Ciegos		
	5 semana	10 semana	16 semana	5 semana	10 semana	16 semana	5 semana	10 semana	16 semana	5 semana	10 semana	16 semana
PH												
47.0-47.9 g	319	151	97.1	33.3	17.1	11.1	7.19	7.35	6.95	5.92	5.52	6.60
49.0-49.9 g	296	155	95.5	32.2	17.5	11.4	7.04	7.44	6.95	5.99	5.61	6.45
50.0-50.9 g	303	145	96.9	32.1	16.9	11.6	6.96	7.37	6.99	5.81	5.47	6.43
51.0-51.9 g	301	147	98.6	32.8	16.7	11.5	7.12	7.43	7.04	5.95	5.54	6.51
52.0-52.9 g	298	150	95.3	32.0	16.3	11.0	7.16	7.34	7.02	5.97	5.46	6.62
53.0-53.9 g	295	154	98.9	32.0	17.0	11.7	7.29	7.31	6.96	5.91	5.58	6.50
Cascarilla av												
0%	305	151	96.9	32.3	16.8	11.3	7.10	7.38	6.96	6.04	5.54	6.55
3%	297	148	96.9	32.4	16.8	11.5	7.22	7.40	7.01	5.92	5.51	6.50
SD ¹	25.7	12.5	4.42	3.38	1.71	0.79	0.339	0.143	0.204	0.383	0.277	0.216
	Probabilidad ²											
PH												
L ³	0.235	0.720	0.399	0.575	0.712	0.443	0.860	0.154	0.559	0.324	0.981	0.951
Q ⁴	0.395	0.283	0.483	0.801	0.922	0.610	0.080	0.211	0.477	0.912	0.967	0.193
Cascarilla av	0.250	0.346	0.966	0.969	0.255	0.288	0.162	0.458	0.436	0.255	0.701	0.359

¹Desviación estándar (8 o 28 réplicas de 12 aves cada una para los efectos principales de PH y cascarilla de avena respectivamente).

²La interacción entre los efectos principales no fue significativa ($P > 0.05$).

³Lineal.

⁴Quadrática

4.3.3.2.- Efecto de la inclusión de fibra

A las 5 semanas de edad, el peso relativo del TGI fue mayor para las pollitas alimentadas con CA que para las pollitas alimentadas con la dieta control (18.3% vs. 18.0% PV; $P < 0.05$) pero no se observaron diferencias después de esta edad (Tabla 24).

La inclusión de cascarilla de avena no afectó el PR del buche a ninguna edad, pero aumentó el de la molleja a las 5 semanas (6,00% frente a 5,31%; $P < 0,001$), 10 semanas (5,03% frente a 4,60%; $P < 0,001$) y 16 semanas de edad (3,94% vs. 3,55%; $P < 0,01$) (Tablas 25 y 26). El pH del buche y la molleja no se vieron afectados por la inclusión de CA a ninguna edad, excepto en la molleja a las 5 semanas de edad que tendió a disminuir con la inclusión de CA (1.79 vs. 1.98; $P = 0.058$).

El contenido de digesta reciente de la molleja no se vio afectado por la inclusión de CA a ninguna edad.

La inclusión de cascarilla de avena no tuvo ningún efecto sobre la LR del tarso (Tabla 24) o sobre el pH o la LR del ID y ciegos (Tabla 27) a ninguna edad.

V- DISCUSIÓN

V. DISCUSIÓN

5.1.- Datos productivos

5.1.1.- Peso del huevo preincubación y peso inicial de pollita

El PV al nacimiento depende de numerosos factores, incluidas la estirpe de ponedora utilizada, el tamaño y la composición del huevo, y las condiciones ambientales durante el proceso de incubación y en el momento de la eclosión (Shanawany, 1987; Wilson, 1991; Vieira y Moran, 1999). La mayoría de los estudios realizados en pollos de engorde muestran que los huevos más grandes dan como resultado pollitos más pesados tanto en el momento de la eclosión (Shanawany, 1984; López y Leeson, 1994; Vieira y Moran, 1999) como posteriormente en el momento del sacrificio en matadero (Stringhini et al., 2003; Gomes et al., 2008).

La relación entre el peso del huevo previo a la eclosión y el peso del pollito al nacimiento es de aproximadamente 67 a 68% tanto en broilers (Shanawany, 1987; Pinchasov, 1991; López y Leeson, 1994) como en pollitas (Rodado et al., 2015). Wilson (1991) encontró que por cada gramo de peso adicional en la incubadora aumentaba en 13 g en el PV a los 56 días de edad. Mendes et al. (2011) encontraron que de 1 a 42 d de edad, la ganancia de PV y del consumo de pienso fue 2% superior para los pollitos que pesaron 40.3 g que para los que pesaron 34.8 g en la incubadora, aunque el IC no se vio afectado. Resultados similares han sido publicados por Sklan et al. (2003) y Gomes et al. (2008). Sin embargo, la información disponible sobre los efectos de PV al nacimiento y su relación con el PV de pollitas previo a la puesta es muy limitada y con muy pocos estudios científicos publicados.

En la práctica, la mayoría de los técnicos de pollitas morenas para puesta recomiendan un PV mínimo de las pollitas a la llegada a granja de 32 g a 33 g para un rendimiento óptimo. Sin embargo, no hay evidencias científicas que avalen esta recomendación, que puede ser no correcta en lotes uniformes bien manejados, durante el período de recría. De hecho, Deaton et al. (1979) comprobaron que un PV de pollitas en incubadora de 32,2 g vs un PV de 35,2 g, no afectó al PV de las aves a las 18 sem de edad.

En la presente tesis doctoral, el PV inicial de la pollita no afectó el crecimiento a ninguna edad, probablemente porque el PV al nacer de las pollitas ligeras no fue excesivamente bajo (promedio de 33.9 ± 0.5 g y 33.5 ± 0.5 g en los experimentos 1 y 2, respectivamente). De hecho, la proporción de pollitas que pesaron menos de 33 g fue del 23% y 28% para las pollitas ligeras y 0% para las pollitas pesadas en los experimentos 1 y 2, respectivamente. En nuestra investigación, las pollitas se clasificaron por PV en la incubadora y se repitieron en la granja experimental, dando como resultado una alta uniformidad de PV intra-réplica en ambos grupos experimentales. De hecho, el PV inicial, el crecimiento y la uniformidad de PV de las pollitas, fueron similares para todos los grupos a partir de la segunda semana de vida. En consecuencia, la competencia potencial por la alimentación y acceso a bebederos por pollita dentro de cada réplica individual, fue limitada. Esto no ocurre así en condiciones de campo puesto que en la recepción de pollitas hay una uniformidad de pesos mucho menor al no clasificarse ni las pollitas ni los huevos antes de su incubación.

En este aspecto, Bray (1983) observó que el crecimiento de los pollos de engorde se optimizó y la variabilidad de PV en el sacrificio se redujo, cuando

los huevos se clasificaron por tamaño en la incubadora y las aves se criaron por separado en función del PV inicial. De forma similar, Hearn (1986) observó que pollos de engorde procedentes de huevos de menor tamaño para incubar pero criados por separado según PV, presumiblemente redujo la competencia y mostraron un PV final similar que el de los broilers de los huevos más pesados, a pesar de las diferencias en el PV inicial de las aves. Resultados similares han sido publicados por Wilson (1991) en pollitas.

En este mismo sentido, y siempre en base a investigaciones en pollos de engorde, Iqbal et al. (2017) observaron que la correlación entre PH y PV disminuyó con la edad del ave. Tufft y Jensen (1991) indicaron que el PH es el factor más importante en relación con el PV de los pollos al nacer, pero que las diferencias en PV desaparecieron tras las 3 primeras semanas de vida. De manera similar, Pinchasov (1991) informó que la ventaja de mejores PV en el momento de la eclosión, como resultado de incubar huevos de mayor tamaño, disminuyó rápidamente tras el nacimiento, con correlaciones entre peso del huevo y PV del pollito que perdieron significancia después de los 5 d de edad. En pollos de engorde la uniformidad del PV a las 10 y 16 sem de edad no se vio afectada por el PH, de acuerdo con investigaciones de Bray (1983), Hearn (1986) y en pollitas por Wilson (1991).

En consecuencia, la clasificación de las pollitas al nacimiento según su PV inicial en la incubadora, junto con la crianza de las aves bajo buenas prácticas de manejo, podría facilitar la utilización de huevos pequeños producidos por reproductores jóvenes, mejorando así la rentabilidad general del lote de reproductoras.

5.1.2.- Influencia del corte de picos

En la práctica comercial (es cada vez más frecuente en sistemas alternativos y en ciertos países donde se ha prohibido totalmente el corte de picos), así como en estudios llevados a cabo con anterioridad, se ha observado que las aves a las que no se les ha cortado los picos, mostraron un mayor impacto del picoteo de las plumas y el canibalismo que las aves en las que se cortó adecuadamente el pico o simplemente fueron despuntadas (Sun et al., 2014). El corte del pico modifica el comportamiento de alimentación de las aves que necesitan adaptar las prácticas de recolección a la nueva forma del pico.

Si el corte de picos no se realiza correctamente, el estrés y el dolor causados pueden afectar la ingesta de pienso, reduciendo el rendimiento de las aves (Cheng, 2006). A este respecto, el corte de picos en incubadora con infrarrojo puede dar como resultado un comportamiento menos agresivo de las aves que el procedimiento de cuchilla incandescente en granja y, en consecuencia, el corte en incubadora podría ser una buena alternativa a la tecnología tradicional de cuchilla incandescente en operaciones comerciales (Glatz, 2000; Dennis et al., 2009; Dennis y Cheng, 2010).

En la investigación llevada a cabo en la presente tesis por el autor, el método de corte de los picos no afectó el crecimiento de la pollita o la uniformidad del PV al final de los ensayos 1 y 2.

En el ensayo 1, el pico de pollitas cortado en la granja (grupo HB-8) o mediante el procedimiento de corte de picos por infrarrojo agresivo en la incubadora (grupo AG-0) mostró un GMD menor a las 5 semanas de edad que el pico cortado utilizando el procedimiento infrarrojo en incubadora suave (MI-

Grupo 0), pero las aves se recuperaron con el tiempo y no se detectaron efectos a las 10 o 15 semanas de edad.

En el ensayo 2, todas las pollitas con el pico tratado en la incubadora (grupos MI-0 y AG-0) mostraron una reducción en el rendimiento del crecimiento y la uniformidad PV durante la primera semana de vida en comparación con las pollitas del grupo HB-8 cortadas a los 8 d de vida en granja. Se observó una pérdida similar en el rendimiento en las pollitas HB-8 la semana después de que tuvo lugar el proceso de corte. En ambos casos, las pollitas se recuperaron rápidamente, mostrando un crecimiento compensatorio dentro de una semana después del tratamiento del pico. De hecho, todas las pollitas tenían un PV, IC y uniformidad del PV similar a las 6 semanas de edad, independientemente del método utilizado y la edad en el tratamiento del pico.

Estos resultados indican que las pollitas se recuperan rápidamente de la disminución del consumo de pienso causada por el corte del pico, siempre que el procedimiento se lleve a cabo correctamente y las pollitas se mantengan bajo buenas prácticas de manejo durante el período de crianza.

En el ensayo 1, el CMD y GMD desde 0 a 5 semanas de edad fueron menores para las pollitas AG-0 que para las pollitas MI-0, lo cual era esperado, pero no se observaron diferencias después de esta edad. Se observaron resultados similares en el ensayo 2, aunque en este caso las diferencias no fueron significativas. El corte de picos agresivo en incubadora AG-0 produjo una reducción más pronunciada de la longitud de las partes superior e inferior del pico, causando un mayor estrés para las aves que el corte más suave MI-0 (Dennis y Cheng, 2012). En consecuencia, se debe esperar una reducción más

pronunciada en el crecimiento la semana después del corte para el grupo AG-0 en comparación con el grupo MI-0.

5.1.3.- Influencia del uso del Butirato de sodio protegido

Numerosos informes han demostrado los efectos positivos de la inclusión de butirato protegido en el perfil de la microbiota intestinal, la absorción de nutrientes y el rendimiento productivo en pollos de engorde (Antongiovanni et al., 2007; Adil et al., 2010; Chamba et al., 2014; Kaczmarek et al., 2016). Sin embargo, en los ensayos realizados en la presente tesis, no se han encontrado ningún dato que haga pensar sobre los beneficios potenciales de la inclusión del butirato de Na en las pollitas al final de período de recría. En la investigación realizada por el autor, el butirato de Na tendió a mejorar el GMD y el IC de 0 a 6 semanas de edad, con la mayoría de los beneficios detectados durante las primeras 2 semanas de vida. Esta información es consistente con los datos de Hu y Guo (2007), quienes informaron en pollos de engorde un aumento lineal en GMD de 0 a 21 D de edad con 0,20% de suplemento de Na-butirato.

5.1.4.- Efectos de las condiciones de estrés en el crecimiento de las pollitas

Las condiciones de estrés se aplicaron a las pollitas en sus primeras etapas de vida (ventana de nacimientos extendida y tiempo de transporte, acceso limitado a la alimentación y al agua durante los primeros 7 días de vida, baja intensidad de luz, temperatura ambiente reducida durante la noche y corte de pico de cuchilla incandescente a 18 d de la edad) redujo el crecimiento de la pollita como era esperado (ensayo 3).

Los efectos negativos de los estreses aplicados, aunque disminuyeron con la edad, todavía eran evidentes al final de la fase de crianza. Según las prácticas comerciales, las pollitas se sacan de la incubadora dentro de una ventana de 24-36 h. En consecuencia, las pollitas nacidas temprano y mediano plazo permanecen por períodos más largos a altas temperaturas que las pollitas nacidas más tarde.

Además, las pollitas se someten a diversas prácticas de manejo en la incubadora antes de ser transportados a la granja. Pinchasov y Noy (1993) publicaron que la duración del período de espera posterior a la eclosión (el tiempo transcurrido en la incubadora más el tiempo de transporte y la colocación en la granja sin acceso a alimentos y agua) afectó el crecimiento temprano de pollos de engorde y pavos, un efecto eso fue más pronunciado bajo altas temperaturas ambientales y malas condiciones de transporte. Jong et al. (2017) publicaron que la privación del acceso al alimento y al agua después de la eclosión (p. ej., 12 - 36 horas vs. 0 - 12 horas) resultó en una reducción significativa en el peso corporal de los pollos de engorde a las 6 semanas de edad, que concuerda con los datos de las pollitas obtenido en la presente tesis doctoral.

La baja temperatura durante los primeros días de vida es uno de los principales problemas que afectan el bienestar y el crecimiento de los pollitos en condiciones comerciales (Piestun et al., 2017; Huff et al., 2007; 2015). Según Lohmann (2018), la temperatura deseada a nivel de ave para el crecimiento óptimo durante los primeros 4 días de vida, debe estar dentro de un rango de 36 a 33 °C, con atención cuidadosa a los cambios bruscos de temperatura ambiente durante el día y principalmente durante la noche que es

cuando mayores problemas aparecen en granjas comerciales. En este sentido, Huff et al. (2007) publicaron una reducción del 9,3% en el peso corporal en los pollos de pavo sometidos a baja temperatura ambiental durante la primera semana de edad en comparación con los que se mantuvieron a una temperatura estándar, cosa que está de acuerdo con los datos que se presentan en esta tesis para las pollitas.

Como se ha visto en los datos obtenidos en la presente tesis doctoral, se observaron reducciones significativas en CMD en pollitas después del tratamiento del pico, ya sea por tecnología de infrarrojos en incubadora o por corte con cuchillas en la granja a los 8 d (ensayos 1 y 2) y 18 d (ensayo 3). Carey y Lassiter (1995) publicaron una reducción significativa de CMD en pollitas durante las 2 semanas posteriores al corte del pico con cuchillas incandescentes a los 63 o 84 días de edad, pero estos autores observaron que las aves se recuperaron rápidamente del estrés asociado con el proceso. La información disponible confirma que se produce un crecimiento compensatorio, en todo tipo de aves, pocos días después del recorte del pico, en consonancia con los resultados publicados en esta tesis.

5.1.5.- Influencia de la Inclusión de fibra insoluble en la dieta

De 0 a 5 semanas de edad, la inclusión de 3% de CA en la dieta aumentó el Consumo medio diario de pienso (CMD) en un 2,9% y disminuyó el Índice de conversión (IC) en un 2,3% como promedio, pero no afectó el consumo energético medio diario (CEMD), ni al índice de conversión energética (ICE) ni la ganancia de peso vivo (GPV). Además, después de las 5 semanas de edad, la inclusión de CA no afectó el rendimiento productivo ni a la uniformidad de

peso corporal de las pollitas, a pesar de la menor energía y los menores contenidos de aminoácidos de los piensos que contienen cascarilla de avena (CA) al haberse diluido la dieta con la CA.

Guzmán et al. (2015) observó que la inclusión de fibra adicional en la dieta incrementó el CMD de 0 a 5 semanas de edad, sin afectar el consumo energético medio diario, de acuerdo con los resultados de la investigación de la presente tesis doctoral. Estos autores también publicaron un aumento en el GPV de las aves alimentadas con dietas suplementadas con fibra y, en consecuencia, el IC no se vio afectado. Las pollitas comen para satisfacer sus requerimientos de energía y, en consecuencia, el CMD debe aumentar cuando se ingieren dietas ricas en fibra y de bajo contenido energético. En experimentos realizados con pollos de engorde, la inclusión de hasta un 3% de una fuente de fibra en la dieta no afectó a CMD, pero mejoró el GPV y el IC (González-Alvarado et al., 2007; Jiménez-Moreno et al. 2009a, 2016). Además, Kimiaetalab et al. (2017; 2018) publicaron que la inclusión de cascarilla de girasol al 3% en la dieta, (sustituyendo directamente un 3% del pienso terminado), no tuvo ningún efecto perjudicial en los resultados productivos del crecimiento de las pollitas y en pollos de engorde de 1 a 21 días de edad. Todos estos datos están de acuerdo con la sugerencia de Mateos et al. (2012) que indican que el rendimiento productivo de las aves jóvenes se beneficia de la fibra dietética adicional aportada por la CA, aunque los resultados de la investigación actual sugieren que la ventaja podría ser menos importante en pollitas que en pollos de engorde.

5.2.- Características del TGI y medidas corporales

El crecimiento de las aves está influenciado por el desarrollo del TGI durante las primeras etapas de la vida (Frikha, et al., 2009; Kimiaeitalab et al., 2017).

5.2.1.- Peso del huevo preincubación y del peso inicial de pollita

Sklan et al. (2003) publicaron que el PV en el nacimiento (43 g vs. 53 g) afectó el desarrollo del TGI del ave, pero no tuvo efectos en PV y IC en el sacrificio (en pollos de carne).

En nuestra revisión bibliográfica no se han encontrado ninguna publicación sobre los efectos de PV en el nacimiento sobre el desarrollo posterior del TGI en pollitas. En los datos publicados en esta tesis doctoral, el PV inicial no afectó el peso relativo, la longitud o el pH de los diferentes órganos del TGI a cualquier edad. Estos resultados son consistentes con los datos sobre la longitud del tarso y la uniformidad de PV que fueron similares para ambos grupos de pollitas en todas las edades en el ensayo 1.

En la investigación realizada para la presente tesis doctoral en el tercer ensayo, el peso relativo del TGI a las 5 semanas de edad disminuyó a medida que aumentaban los PH (y el PV inicial de las pollitas) pero después no se detectaron efectos. Además, no se detectaron efectos adicionales de la PH en ninguna de las características TGI estudiadas a ninguna edad.

En las pruebas de los ensayos anteriores 1 y 2 se dijo que el PV en la eclosión no afectó el peso relativo, a la longitud relativa o el pH de los diferentes órganos del TGI de las pollitas a las 15 semanas de edad, de acuerdo con los resultados obtenidos en este tercer ensayo. Además, también se comprobó en los ensayos anteriores que cuando las pollitas se clasificaron

por PV inicial y luego se mantuvieron en condiciones adecuadas de crianza hasta las 15 semanas de edad, las características del TGI fueron similares en las pollitas que pesaban 33.9 g que en las pollitas que pesaban 37.6 g en la incubadora al nacimiento.

Los resultados de la investigación de este tercer ensayo sugieren también que la clasificación de las pollitas de los huevos que oscilan entre 47 y 54 g por PH inicial no afecta el crecimiento o el desarrollo del TGI al final de la fase de crianza. Un aumento en la longitud del tarso sugiere un mejor desarrollo del esqueleto y de la estructura anatómica y fisiológica del ave (Cleasby et al., 2011) que podría beneficiar la producción futura de huevos (Senar y Pascual, 1997; Iqbal et al., 2016; Guzmán et al. 2015a). Igualmente, en este tercer ensayo, la longitud relativa (RL) del tarso a las 5 semanas de edad disminuyó linealmente con aumentos en el peso del huevo (PH), pero no se observaron diferencias después de esta edad. De hecho, no se observaron diferencias a causa del PH, en la longitud del tarso absoluto, a ninguna edad. Probablemente, las diferencias en RL a esta edad fueron consecuencia de diferencias en PV, sin ningún efecto en otras variables fisiológicas.

En general, los datos obtenidos y mostrados en esta tesis, sugieren que las pollitas más ligeras al nacimiento, si se crían adecuadamente, tendrán un desarrollo de TGI similar en el caso de las pollitas pesadas y, por consiguiente, los huevos para incubar de gallinas morenas que pesan más de 48.0 o 49.0 g, que producirán pollitas con un peso corporal inicial de 32 a 33 g, no deben descartarse en la incubadora.

5.2.2.- Corte de picos

En presente trabajo se ha comprobado que la técnica de corte de pico no afectó ninguna medida de TGI a cualquier edad, de manera consistente con los datos de rendimiento productivo, que fueron similares para cada uno de los grupos. No hemos encontrado ninguna publicación sobre los efectos del corte del pico de las pollitas en el desarrollo posterior del TGI para comparar con los datos publicados en esta tesis doctoral.

La longitud del tarso se ha utilizado como una herramienta para predecir el crecimiento futuro y el rendimiento de los pollos de engorde comerciales (Mendes y otros, 2007; Willemsen y otros, 2008; Van Roover-Reijrink, 2013) y pollitas (Guzmán y otros, 2015 Saldaña et al., 2015). Un aumento en la longitud del tarso sugiere un mejor desarrollo óseo (Cleasby et al., 2011), que podría ser beneficioso para la futura producción de huevos (Senar y Pascual, 1997; Mendes et al., 2008). Sin embargo, en la investigación realizada, ninguno de los principales factores probados afectó la longitud del tarso, lo que es consistente con la falta de efectos sobre el PV y sobre la uniformidad de PV obtenida al final de los ensayos 1 y 2.

5.2.3.- Inclusión de fibra insoluble

El PR del TGI a las 5 semanas de edad y el de la molleja en todas las edades, aumentó cuando las pollitas se alimentaron con un 3% de CA. González-Alvarado y otros. (2008, 2010) reportaron un aumento del PR de la molleja del 32% a 22 y del 81% a los 42 días de edad, en pollos alimentados con 3% de CA. Del mismo modo, Hetland et al. (2003) observaron un aumento del 26% en el peso de la molleja en pollos de engorde alimentados con 10% de

CA en comparación con pollos de engorde alimentados con una dieta de control a los 33 días de edad. En pollitas, Guzmán et al. (2015a) observaron que la inclusión en la dieta de ciertas fuentes de fibra inerte, como el 4% de paja de cereal, aumentó el PR de la molleja en un 26% a las 10 semanas de edad, aunque no se detectaron efectos después de esta edad. Kimiaeitalab et al. (2017) publicaron que la inclusión de 3% de cascarilla de girasol en la dieta aumentó el PR de la molleja, tanto de pollitas como de pollos de engorde, a los 21 días de edad en un 33% como promedio.

En nuestra investigación la inclusión de fibra tendió a disminuir el pH de la molleja a las 5 semanas de edad, de acuerdo con investigaciones anteriores en pollos de engorde (González-Alvarado et al., 2007; Jiménez-Moreno et al., 2009a; Sacranie et al., 2012; Jiménez -Moreno et al., 2019) y pollitas (Guzmán et al., 2015a; Kimiaeitalab et al., 2017). Todos estos datos sugieren que la inclusión en la dieta de cantidades adecuadas de una fuente de fibra insoluble, como la CA, estimula el desarrollo de la molleja y la producción de HCl, aumentando el tamaño del órgano y reduciendo el pH de la digesta en las primeras etapas del período de la recría.

5.3.- Conteo bacteriano a nivel de ciegos

En el ensayo 1, el tratamiento no afectó el recuento microbiano de las excretas a las 5 semanas de edad. El autor de presente tesis doctoral no ha encontrado ninguna publicación sobre los efectos del PV inicial o el procedimiento de corte del pico en los recuentos microbianos para compararlos con los datos de las investigaciones realizadas.

5.4.- Ácidos grasos volátiles en el contenido de buches e íleon

5.4.1.- Corte de picos y el PV inicial de la pollita

En el ensayo 1, el PV inicial de las pollitas y el procedimiento de corte de pico no afectaron la producción total de AGV o el perfil de AGV en el buche o íleon a las 6 semanas de edad.

5.4.2.- Inclusión de Butirato de sodio

La inclusión en de 0,3% de butirato de Na en la dieta no tuvo efectos sobre la concentración total de AGV o el perfil de AGV en el íleon, pero aumentó la concentración de butirato en el buche. Este aumento observado fue inesperado porque el butirato de Na utilizado estaba protegido y, en consecuencia, la concentración de ácido butírico debería ser similar para los grupos que recibieron suplementos de butirato de Na y no recibieron suplementos.

Este punto se explica porque en la investigación llevada a cabo, los contenidos de los buches se acidificaron inmediatamente después de la recolección al agregar HCl 0,5 N a la muestra para detener los procesos de fermentación (Carro et al., 595 1992). La metodología utilizada redujo el pH de la muestra de buche por debajo de 2,5. A un pH bajo, la encapsulación del butirato de Na no es efectiva, lo que resulta en la liberación de ácido butírico libre.

En el íleon, no se detectaron diferencias en la concentración de ácido butírico entre las dietas, lo que indica que el ácido butírico contenido en el producto comercial se liberó y absorbió en la sección proximal del SI. Estos datos confirman que el producto comercial utilizado se formuló y procesó correctamente.

5.5.- Discusión general

5.5.1.- Experimento 1

En el Experimento 1, el PV y la uniformidad del PV de las pollitas a las 5, 10 y 15 semanas de edad en el ensayo 1 y a las 6 semanas de edad en el ensayo 2, no fueron afectadas por el peso vivo inicial de las aves, lo que sugiere que las pollitas saludables que pesan de 32 a 33 g en la incubadora, podría no diferir en el rendimiento productivo posterior en comparación con las pollitas con un peso de 37 a 38 g, si se manejan adecuadamente durante el período de crianza.

El corte del pico disminuyó el rendimiento productivo de las aves durante los primeros días después de llevarse a cabo el proceso, pero las aves se recuperaron rápidamente con la edad, y los efectos negativos en los datos productivos de crecimiento y uniformidad de PV desaparecieron con la edad.

El corte de picos con tecnología infrarroja en incubadora se recomienda en las ponedoras comerciales debido a la facilidad del manejo del lote y a que reduce las posibilidades de contaminación microbiana potencial del lote en la granja si no se realiza correctamente la cauterización y el proceso de cicatrizado del pico del ave.

Los beneficios de la inclusión del 0,3% de butirato de Na en la dieta sobre el crecimiento de las pollitas fueron más evidentes en las primeras etapas de la vida, no obteniendo ninguna ventaja en etapas más tardías de crianza.

5.5.2.- Experimento 2

Las condiciones de estrés aplicadas a las pollitas durante los primeros días de vida, junto con el corte del pico a los 18 días de edad (también considerado como factor de estrés), tuvieron considerables efectos negativos en el rendimiento de las pollitas a todas las edades, aunque los efectos fueron menos pronunciados con la edad.

Los huevos que provenían de reproductores jóvenes y que pesaban más de 47 g (que producen pollitas de > 32.5 g PV en la eclosión), producen pollitas comerciales con un potencial de crecimiento similar a las pollitas más pesadas (35.8 g PV en la eclosión), siempre que las pollitas estén separadas en el nacimiento y que las prácticas de gestión después de los primeros días de vida son adecuadas, datos que se corresponden con los obtenidos en los ensayos 1 y 2.

Las pollitas alimentadas con dietas con un 3% de cascarilla de avena (CA) muestran un mejor desarrollo de mollejas, pero una LR similar de ID, ciegos y tarso que las pollitas alimentadas con la dieta de control. Los datos productivos de crecimiento de las pollitas criadas bajo condiciones de estrés temprano en la vida, no se ve afectado por el PV inicial de las aves o por la inclusión de 3% de CA en la dieta a las 16 semanas de edad.

Los datos sugieren que, a las 16 semanas de edad, el rendimiento productivo de un lote de pollitas dentro de un rango en PH entre 47 y 54 g, podría depender más de la uniformidad de PV, obtenida por separación inicial por peso de huevo (PH), que del peso vivo PV de las aves en esta edad.

VI- CONCLUSIONES

VI. CONCLUSIONES

1.- El peso inicial de las pollitas a un día de vida en el momento de la recepción en granja no influye en el rendimiento del crecimiento de las aves ni sobre su uniformidad, lo que implicaría que las pollitas sanas de pesos moderadamente bajos (menores de 32g) si tienen un manejo adecuado en granja y se han separado previamente por peso de huevo en incubadora son equiparables a pollitas de mayor peso en la recepción (> 38 g). Lo que permite el uso de huevo más pequeño que proviene de reproductores más jóvenes siempre que exista una selección de tamaños en la formación de los lotes de huevos anterior al nacimiento.

2.- El corte de picos es viable desde el punto de vista productivo pues, aunque disminuyó el rendimiento de las aves durante los primeros días tras el tratamiento, las aves se recuperaron rápidamente con la edad, y los efectos negativos en el rendimiento del crecimiento o la uniformidad de PV desaparecieron al final de la crianza.

3.- El corte de picos con tecnología infrarroja en incubadora se recomienda en las ponedoras comerciales debido a la facilidad del manejo del lote y a que reduce las posibilidades de contaminación microbiana potencial del lote en la granja si no se realiza correctamente la cauterización y el proceso de cicatrizado del pico del ave.

4.- Los beneficios de la inclusión del 0,3% de butirato de Na en la dieta sobre el crecimiento de las pollitas fueron más evidentes en las primeras etapas de la vida, no obteniendo ninguna ventaja en etapas más tardías de crianza.

5.- Es importante mejorar el manejo de las pollitas en la recepción y en los primeros días de vida, pues se mejora el arranque de las pollitas. Los efectos negativos de un mal manejo en los primeros días de crianza se arrastran durante toda la crianza, aunque los efectos son menos pronunciados con la edad.

6.- Las pollitas alimentadas con dietas con un 3% de cascarilla de avena (CA) muestran un mejor desarrollo de mollejas, aunque el resto de parámetros se mantienen inalterados. Ello puede ser interesante si buscamos un mayor desarrollo de la molleja si buscamos una mayor capacidad de ingestión para evitar problemas de subconsumo al inicio de puesta. Se necesita seguir la investigación en este punto.

VII. IMPLICACIONES

VII. IMPLICACIONES

Como consecuencia de los resultados obtenidos en la presente Tesis Doctoral, se recomendaría trabajar con pollitas de un día en las cuales en la incubadora se haya realizado una separación por peso de los huevos preincubados, incrementando de este modo el aprovechamiento de los lotes de reproductores. Es muy importante la recepción de las pollitas debiendo evitarse cualquier tipo de estrés, especialmente el corte de picos que se recomienda sea el realizado en incubadora previo a la salida hacia la granja con radiación infrarroja.

Si queremos mejorar el arranque de las aves puede ser interesante el uso de butirato de Na durante las primeras semanas de vida (primer pienso de arranque), no considerándose necesario seguir usando lo toda la crianza.

Si durante los arranques de los lotes de producción, principalmente ahora que se tienen gallinas en suelo y camperas, donde los problemas de subconsumo en gallinas comerciales aumentan, puede ser una práctica recomendable en la práctica incrementar el nivel de fibra durante la crianza con cascarilla de avena, sobre todo cuando incluso al sustituir parte del pienso pueda llegar a abaratar la ración.

VIII.-REFERENCIAS

VIII. REFERENCIAS

- Abiola, S. S., O. O. Meshioye, B. O. Oyerinde, and M. A. Bamgbose. 2008. Effect of egg size on hatchability of broilers chicks. *Arch. Zootec.* 57:83-86.
- Adil, S., T. Banday, G. A. Bhat, M. S. Mir, and M. Rehman. 2010. Effect of dietary supplementation of organic acids on performance, intestinal histomorphology, and serum biochemistry of broiler chicken. *Vet. Med. Int.* 10:4061-4067.
- Aerni, V., H. El-Lethey, and, B. Wechsler, 2000. Effect of foraging material and food form on feather pecking in laying hens. *Br. Poult. Sci.* 41:16-21.
- Ahsan, U., Ö. Cengizi, I. Raza, E. Kuter, M. F. A. Chacher, Z. Iqbal, S. Umar, and S. Çakir. 2016. Sodium butyrate in chicken nutrition: the dynamics of performance, gut microbiota, gut morphology, and immunity. *World's Poult. Sci. J.* 72:265-278.
- Amerah, A.M., V. Ravindran, and R.G. Lentle, 2009. Influence of insoluble fibre and whole wheat inclusion on the performance, digestive tract development and ileal microbiota profile of broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 50:366-375.
- Antongiovanni, M., A. Buccioni, F. Petacchi, S. Leeson, S. Minieri, A. Martini, and R. Cecchi. 2007. Butyric acid glycerides in the diet of broiler chickens: effects on gut histology and carcass composition. *Italian J. Anim. Sci.* 6:19-25.
- AOAC International, 2005. *Official Methods of Analysis* (17^a Ed). AOAC, Gaithersburg, MD.

- AOCS, 2004. Official Methods and Recommended Practices of the AOCS, 5th ed. Am. Oil Chem. Soc., Champaign, IL.
- Arsenault R.J., 2020. Understanding gut function in poultry. Pp 121-142 In IMPROVING GUT HEALTH IN POULTRY. S.C. Rick (ed) Burleigh Dodds Science Publishing. Cambridge, UK
- ASAE. 2003. Method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving. ASAE standard S319.2. Agriculture Engineers Yearbook of Standards. ASAE, St. Joseph, MO.
- Asp, N.G., 2004. Definition and analysis of dietary fibre in the context of food carbohydrates. In: pp. 21-26 Dietary fibre: Bio-active Carbohydrates for Food and Feed. Van derKamp, J.N., N.G. Asp, , J. Miller Jones, and G. Schaafsma, (eds.). Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands,.
- Awad, A., and K. Ghareeb. 2009. Effects of dietary inclusion of probiotic and symbiotic on growth performance, organ weights and intestinal histomorphology of broilers chickens, Poult. Sci.; 88:49-56
- Bach Knudsen, K.E., 1997. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. Anim. Feed Sci. . Technol. 67:319-338.
- Bach Knudsen, K.E., 2001. The nutritional significance of ‘ dietary fibre’ analysis. Anim. Feed Sci. 90:3-20.
- Bach Knudsen, K.E., B.B. Jensen, and I. Hansen, 1993. Oat bran but not a beta-glucan enriched oat fraction enhances butyrate production in the large intestine of pigs. Jo. of Nutr. 123:1235-1247.
- Bearse, G.E., V.L. Miller, and C.F. Mc Clary, 1940. The cannibalism preventing properties of the fibre fraction of oat hulls. Poul. Sci. 19:210-215.

- Bell, D. D., W. D. Weaver. 2002. Comercial Chicken Meat and Egg Production. 5th Ed. Kluwer academic publishers. Boston (USA)
- Bindelle, J., P. Leterme, and A. Buldgen. 2008. Nutritional and environmental consequences of dietary fibre in pig nutrition: a review. *Biotech., Agr., Soci. and Environ.* 12:69-80.
- BOE (Boletín Oficial del Estado). 2013. Ley 53/2013 de 1 de febrero por el que se establecen las normas básicas aplicables para la protección de los animales utilizados en experimentación y otros fines científicos, incluyendo la docencia. *BOE* 34:11.370-11.421.
- Bray, T. S. 1983. Broiler chick weight - Does it matter? *Gleadthorpe Experimental Husbandry Farm. Poultry Booklet* 11: 17-20.
- Berrang, M, J.F. Frank, R. J. Buhr, J.S. Bailey, N.A. Cox, And J. Mauldin. 1998. Eggshell characteristics and penetration by *Salmonella* through the productive life of a broiler breeder flock. *Poult. Sci.* 77:1446-1450
- Büttow Roll V.F., R. Cepero, and G.A. Maria. 2009. Floor versus cage rearing: effects on production, egg quality and physical condition of laying hens housed in furnished cages. *Ciencia Rural*, 39, 1527-1532.
- Carey, J. B., and B. W. Lassiter. 1995. Influences of age at final beak trim on the productive performance of commercial layers. *Poult. Sci.* 74:615-619.
- Carro, M. D., P. Lebzien, and K. Rohr. 1992. Effects of yeast culture on rumen fermentation, digestibility and duodenal flow in dairy cows fed a silage based diet. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 32:219-229.
- Cerisuelo, A., C. Marin, F. Sanchez-Vizcaino, E. A. Gomez, J. M. de la Fuente, R. Duran, and C. Fernandez. 2014. The impact of a specific blend of essential oil components and sodium butyrate in feed on growth

- performance and Salmonella counts in experimentally challenged broilers. *Poult. Sci.* 93:599-606.
- Chamba, F., M. Puyalto, A. Ortiz, H. Torralba, J.J. Mallo, and R. Riboty. 2014. Effect of partially protected sodium butyrate on performance, digestive organs, intestinal villi and E. coli development in broilers chickens. *Int. J. Poult. Sci.* 13:390-396.
- Chang, A., J. Halley, and M. Silva. 2016. Can feeding the broiler breeder improve chick quality and offspring performance?. *Anim. Prod. Sci.* 56:1254-1262.
- Cheng, H. W., P. Singleton, and W. M. Muir. 2003. Social stress in laying hens: differential effect of stress on plasma dopamine concentrations and adrenal function in genetically selected chickens. *Poult. Sci.* 82:192-198.
- Cheng, H. W. 2006. Morphopathological changes and pain in beak trimmed laying hens. *World's Poult. Sci. J.* 62:41-52.
- Cleasby, I. R., T. Burke, J. Schroeder, and S. Nakagawa. 2011. Food supplements increase adult tarso length, but not growth rate, in an island population of house sparrows (*Passer domesticus*). *BMC Res. Notes* 4:431-442.
- Choct, M. and S. Hartini, 2003. Interaction between nutrition and cannibalism in laying hens. *Recent Advances in Animal Nutrition in Australia* 14:157-161.
- De Coca-Sinova, A. D., G. Valencia, E. Jiménez-Moreno, J. M. González-Alvarado, R. Lázaro, and G. Mateos. 2008. Apparent ileal digestibility of nitrogen, amino acids, and energy of soybean meals from different origins in broilers. *Poult. Sci.* 87:2613-2623.

- de Jong, I. C., J. van Riel, M. B. M. Bracke, H. van den Brand. 2017. A meta-analysis of effects post-hatch food and water deprivation on development, performance and welfare of chickens. *Plos One* 12:e0189350.
- Deaton, J. W., J. L. McNaughton, and F. N. Reece. 1979. Relationship of initial chick weight to body weight of egg-type pullets. *Poult. Sci.* 58:960-962.
- Dennis, R. L., A. G. Fahey, and H. W. Cheng. 2009. Infrared beak treatment method compared with conventional hot-blade trimming in laying hens. *Poult. Sci.* 88:38-43.
- Dennis, R. L., and H. W. Cheng. 2010. A comparison of infrared and hot blade beak trimming methods in laying hens. *Int. J. Poult. Sci.* 9:716-719.
- Dennis, R. L., and H. W. Cheng. 2012. Effects of different infrared beak treatment protocols on chicken welfare and physiology. *Poult. Sci.* 91:1499-1505.
- Dittoe D. and Ricke S. C, 2020. Commercial poultry production and gut function: a historical perspective. Pp 3-30 In IMPROVING GUT HEALTH IN POULTRY. S.C. Rick (ed) Burleigh Dodds Science Publishing. Cambridge, UK
- Ducatelle R, F. De Meyer, V. Eeckhaut, G. Antonissen, F. Harsebrouck, and F. Van Immerseel. 2018, Biomarkers for monitoring intestinal health in poultry: present status and future perspectives, *Vet. Res.*; 49:43-52.
- Duncan, I. J. H., G. S. Slee, E. Seawright, and J. Breward. 1989. Behavioural consequences of partial beak amputation (beak trimming methods) in poultry. *Br. Poult. Sci.* 30:479-488.

- FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal). 2010. Necesidades Nutricionales para Avicultura: Pollos de Carne y Aves de Puesta. R. Lázaro and G. G. Mateos (eds): 1st ed. FEDNA, Madrid, Spain.
- FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal). 2018. Necesidades Nutricionales para Avicultura: Pollos de Carne y Aves de Puesta. G. Santomá and G. G. Mateos (eds.): 2^a ed. FEDNA, Madrid, Spain.
- Fellah J., T. Jaffredo, N. Nagy and D. Dunon. 2017. Development of the avian Immune system. Pp 45-60 In Avian Immunology, K. A. Schat, B. Kaspers, P. Kaiser (ed.) Academic Press, San Diego, CA, USA
- Frikha, M., H.M. Safaa, M.P. Serrano, X. Arbe, and G.G. Mateos. 2009. Influence of the main cereal and feed form of the diet on performance and digestive tract of brown-egg laying pullets. Poult. Sci. 88: 994-1002.
- Galfi, P, and J. Bokori. 1995. Feeding trial in pigs with a diet containing sodium n-butyrate. Acta Vet. Hung.; 38: 3-17.
- García, J., H. A. Mandalawi, G. Fondevila, and G. G. Mateos. 2019. Influence of Beak trimming methods and inclusion of sodium-butyrate in the diet on growth performance and digestive tract traits of brown-egg pullets differing in initial body weight. Poult. Sci.: 98:3937-3949
- Gentle, M. J. 1986. Beak trimming methods in poultry. World's Poult Sci. J. 42:268-275.
- Gentle, M. J., B. O. Hughes, A. Fox, and D. Waddington. 1997. Behavioural and anatomical consequences of two Beak trimming methods in 1- and 10-d-old domestic chicks. Br. Poult. Sci. 38:453-463.

- Glatz, P. C. 2000. Beak trimming methods. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 13:1619-1637.
- Glatz, P. C. 2005. *Poultry Welfare Issues: Beak Trimming Methods*. Nottingham University Press, Nottingham, England.
- Gomes, G. A., L. F. Araújo, J. A. Prezzi, D. Savietto, J. R. S. Junior, and J. Valerio. 2008. Period of feeding a pre-starter diet for broiler chickens with different body weights at housing. *Braz. J. Poult. Sci.* 37:1802-1807.
- González-Alvarado, J. M., E. Jiménez-Moreno, R. Lázaro, and G. G. Mateos. 2007. Effects of type of cereal, heat processing of the cereal, and inclusion of fiber in the diet on productive performance and digestive traits of broilers. *Poult. Sci.* 86:1705-1715.
- González-Alvarado, J. M., E. Jiménez-Moreno, D. G. Valencia, R. Lázaro, and G. G. Mateos. 2008. Effects of fiber source and heat processing of the cereal on the development and pH of the gastrointestinal tract of broilers fed diets based on corn or rice. *Poult. Sci.* 87:1779-1795.
- González-Alvarado, J. M., E. Jiménez-Moreno, D. González-Sánchez, R. Lázaro, and G. G. Mateos. 2010. Effect of inclusion of oat hulls and sugar beet pulp in the diet on productive performance and digestive traits of broilers from 1 to 42 days of age. *Anim. Feed Sci. Technol.* 162:37-46.
- Guilloteau, P., L. Martin, V. Eeckhaut, R. Ducatelle, R. Zabielski, and F. Van Immerseel. 2010. From the gut to the peripheral tissue: the multiple effects of butyrate. *Nutr. Res. Rev.* 23:366-384.
- Guzmán, P., B. Saldaña, M. V. Kimiaetalab, J. García, and G. G. Mateos. 2015a. Inclusion of fiber in diets for brown-egg laying pullets: Effects on

- growth performance and digestive tract traits from hatching to 17 semanas of age. Poult. Sci. 94: 2722-2733.
- Guzmán, P., B. Saldaña, H. Mandalawi, A. Pérez-Bonilla, and G. G. Mateos. 2015. Productive performance of brown-egg laying pullets from hatching to 5 semanas of age as affected by fiber inclusion, feed form, and energy concentration of the diet. Poult. Sci. 94:249–261.
- Guzman, P., B. Saldana, O. Bouali, L. Camara, and G.G. Mateos. 2016. Effect of level of fibre of the rearing phase diets on egg production, digestive tract traits, and body measurements of brown egg-laying hens fed diets differing in energy concentration. Poult. Sci. 95:1836-1847.
- Hartini, S., M. Choct, G. Hinch, A. Kocher, and J.V. Nolan. 2002. Effects of light intensity during rearing and beak trimming and dietary fibre sources on mortality, egg production, and performance of ISA Brown laying hens. J. Appl. Poult. Res. 11:104-110.
- Härtle S., K. E. Magor, T.W. Göbel, F. Davison and B. Kaspers. 2017. Structure and evolution of avian immunoglobulins. Pp 103-120 In Avian Immunology. K. A. Schat, B. Kaspers, and P. Kaiser (eds) Academic Press. San Diego, CA, USA.
- Harrigan, W. F. 1998. Laboratory Methods in Food Microbiology. 3rd ed. Academic Press, San Diego.
- Heak C., P. Sukon, S. Kongpechr, B. Tengjaroenkul and K. Chuachan. 2017. Effect of direc-fed microbials on intestinal villus height in broilers chickens: Int. J. Poult. Sci.; 16;403-414.
- Hearn, P. J. 1986. Making use of small hatching eggs in an integrated broiler company. Br. Poult. Sci. 27:498-504.

- Hester P. Y. 2017. Egg Innovations and Strategies for Improvements. Academic press, New York
- Hetland, H., B. Svihus, and Å. Krogdahl. 2003. Effects of oat hulls and wood shaving on digestion in broilers and layers fed diets based on whole or ground wheat. *Br. Poult. Sci.* 44:275-282.
- Hy Line. 2018. Guía de Manejo de Ponedoras Comerciales Hy Line Brown. Hy Line international. Des Moines. Iowa (USA).
- Hu, Z., and Y. Guo. 2007. Effects of dietary sodium butyrate supplementation on the intestinal morphological structure, absorptive function and gut flora in chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 132:240-249.
- Huff, G. R., W. E. Huff, N. C. Rath, F. Solis de los Santos, M. B. Farnell, and A. M. Donoghue. 2007. Influence of hen age on the response of turkey poults to cold stress, *Escherichia coli* challenge, and treatment with a yeast extract antibiotic alternative. *Poult. Sci.* 86:636-642.
- Huff, G. R., W. E. Huff, N. C. Rath, F. A. El-GAary, Z. Y. Zhou, and S. Shini. 2015. Efficacy of a novel prebiotic and a commercial probiotic in reducing mortality and production losses due to cold stress and *Escherichia coli* challenge of broiler chicks. *Poult. Sci.* 94:918-926.
- Hughes, B. O., and M. J. Gentle. 1995. Beak trimming methods in poultry: its implications for welfare. *World's Poult. Sci. J.* 51:51-61.
- Inan, H, R. Rasoulpour, I. Yin, A. Hubbard, D. Rosenberg, and C. Giordina. 2000. The luminal shortchain fatty acid butyrate modulates NF-KB activity in a human colonic epithelial cell line. *Gastroenterology* 118: 724-734.

- Iqbal, J., S. H. Khan, N. Mukhtar, T. Ahmed, and R. A. Pasha. 2016. Effect of egg size (weight) and age on hatching performance and chick quality of broiler breeder. *J. Appl. Anim. Res.* 44:54-64.
- Iqbal, J., N. Mukhtar, Z. U. Rehman, S. H. Khan, T. Ahmad, M. S. Anjum, R. A. Pasha, and S. Umar. 2017. Effects of egg weight on the egg quality, chick quality, and broiler performance at the later stages of production in broiler breeders. *J. Appl. Poult. Res.* 26:183-191
- Iqbal Z, K. Drake, R.A. Swick, R.A. Perez-Maldonado and I. Ruhnke. 2019. *Anim. Nutr.* 5: 140-147
- Isa Brown. 2018. Guía de Manejo de Ponedoras Comerciales Isa Brown. Hendrix Genetics Company, Boxmeer, The Netherlands.
- Jacobs, L., E. Delezie, L. Duchateau, K. Goethals, B. Ampe, E. Lambrecht, X. Gellynck, and F. A. M. Tuytens. 2016. Effect of post-hatch transportation duration and parental age on broiler chicken quality, welfare, and productivity. *Poult. Sci.* 95:1973-1979.
- Jerzsele, A., K. Szeker, R. Csizinszky, E. Gere, C. Jakab, J. J. Mallo, and P. Galfi. 2012. Efficacy of protected sodium butyrate, a protected blend of essential oils, their combination, and *Bacillus amyloliquefaciens* spore suspension against artificially induced necrotic enteritis in broilers. *Poult. Sci.* 91:837-843.
- Jiménez-Moreno, E., J. M. González-Alvarado, A. González-Serrano, R. Lázaro, and G. G. Mateos. 2009a. Effect of dietary fiber and fat on performance and digestive traits of broilers from one to twenty-one day of age. *Poult. Sci.* 88:2562-2574.

- Jiménez-Moreno, E., J. M. González-Alvarado, A. de Coca-Sinova, R. Lázaro, and G. G. Mateos. 2009b. Effects of source of fiber on the development and pH of the gastrointestinal tract of broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 154:93-10.
- Jiménez-Moreno, E., J. M. González-Alvarado, D. González-Sánchez, R. Lázaro, and G. G. Mateos. 2010. Effects of type and particle size of dietary fiber on growth performance and digestive traits of broilers from 1 to 21 days of age. *Poult. Sci.* 89:2197-2212.
- Jiménez-Moreno, E., S. Chamorro, M. Frikha, H. M. Safaa, R. Lázaro, and G.G. Mateos. 2011. Effects of increasing levels of pea hulls in the diet on productive performance, development of the gastrointestinal tract, and nutrient retention of broilers from one to eighteen days of age. *Anim. Feed Sci. Technol.* 168:100-112.
- Jiménez-Moreno, E., M. Frikha, A. de Coca-Sinova, R.P. Lázaro, and G.G. Mateos. 2013. Oat hulls and sugar beet pulp in diets for broilers. 2. Effects on the development of the gastrointestinal tract and on the structure of the jejunal mucosa. *Anim. Feed Sci. Technol.* 182:44-52.
- Jiménez-Moreno, E., A. de Coca-Sinova, J. M. González-Alvarado, and G. G. Mateos. 2016. Inclusion of insoluble fiber sources in mash or pellet diets for young broilers. 1. Effects on growth performance and water intake. *Poult. Sci.* 95:41-52.
- Jiménez-Moreno, E., J. M. González-Alvarado, A. de Coca-Sinova, R. P. Lázaro, L. Cámara, and G. G. Mateos. 2019. Insoluble fiber sources in mash or pellets diets for young broilers. 2. Effects on gastrointestinal tract development and nutrient digestibility. *Poult. Sci.* 98.

- Juul-Madsen, H. J., B. Viertlböck, S. Härtle, A. L. Smith and T. W. Göbel. 2017. Innate immune response. In Pp 121-148 Avian Immunology. K. A. Schat, B. Kaspers, and P. Kaiser (eds) Academic Press , San Diego, CA, USA.
- Kaczmarek, S. A., A. Barri, M. Hejdysz, and A. Rutkowski. 2016. Effect of different doses of coated butyric acid on growth performance and energy utilization in broilers. *Poult. Sci.* 95:851-859.
- Kekeocha, C.C., 2004. Poultry Production Handbooks. Pfizer ed. Macmillan. London UK.
- Kheravii, S.K., R.A. Swick, M. Choct, and W. Shu-Biao. 2017. Coarse particle inclusion and lignocellulose-rich fibre addition in feed benefit performance and health of broiler chickens. *Poult. Sci.* 96:3272-3281.
- Kimiaetalab, M. V., L. Cámara, S. Mirzaie Goudarzi, E. Jiménez-Moreno, and G. G. Mateos. 2017. Effects of the inclusion of sunflower hulls in the diet on growth performance and digestive tract traits of broilers and pullets fed a broiler diet from zero to 21 d of age. A comparative study. *Poult. Sci.* 96:581-592.
- Kimiaetalab, M.V., S. Mirzaie Goudarzi, E. Jiménez-Moreno, L. Cámara, and G.G. Mateos. 2018. A comparative study on the effects of dietary sunflower hulls on growth performance and digestive tract traits of broilers and pullets fed a pullet diet from 0 to 21 days of age. *Anim. Feed Sci. Technol.* 236:57-67.
- Kondra, P. A., J. L. Sell, and W. Guenter. 1974. Response of meat and egg type chickens to a high fiber diet. *Can. J. Anim. Sci.* 54:651-658.

- Kotunia, A, D. Wolinsk, M. Laubitz, V. Jurkowskai, P. Rome, and R. Zabielski. 2004. Effect of sodium butyrate on the small intestine development in neonatal piglets fed by artificial sow. *J. Physiol. Pharmacol.* 55:59-68.
- Kulkarni R.R., Khaled T., Beni-Suef M., and Sharif S., 2020. Gastrointestinal diseases of poultry: causes and nutritional strategies for prevention and control. Pp 205-236 In *IMPROVING GUT HEALTH IN POULTRY*. S.C. Rick (ed) Burleigh Dodds Science Publishing. Cambridge, UK
- Laparra, V, G. Avila, C. Lopez, and M. Arce. 2007 Efecto de la adición de butirato sódico, en el alimento del pollo de engorda, sobre los parametros productivos. XII Congreso AMENA; Veracruz, Toluca, México. Asociación Mexicana de Especialista en Nutrición Animal: 87-88.
- Leeson, S., H. Namkung, M. Antongiovanni, and E. H. Lee. 2005. Effect of butyric acid on the performance and carcass yield of broiler chickens. *Poult. Sci.* 84:1418-1422.
- Leser, T.D., J.Z. Amenuvor, T.K. Jensen, R.H. Lindecrona, M. Boye, and K. Moller. 2002. Culture-independent analysis of gut bacteria: the pig gastrointestinal tract microbiota revisited. *Appl. Environ. Microb.* 68:673-690
- Littell, R. C., P. R. Henry, and C. B. Ammerman. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *J. Anim. Sci.* 76:1216-1231.
- Liu, J. D., H. O. Bayir, D. E. Cosby, N. A. Cox, S. M. Williams, and J. Fowler. 2017. Evaluation of an encapsulated sodium butyrate on growth performance, energy digestibility, gut development and *Salmonella* colonization in broilers. *Poult. Sci.* 96:3638-3644.

- Lohmann. 2018. Management Guide for Lohmann Brown-Classic. Lohmann Tierzucht, Cuxhaven, Germany.
- Lohmann. 2017. Management Guide. Alternative Systems. Lohmann Tierzucht, Cuxhaven, Germany.
- Lopez, G., and S. Leeson. 1994. Nutrition and broiler breeder performance: A review with emphasis on response to diet protein. *J. Appl. Poult. Res.* 3: 303-311.
- Mateos, G. G., R. Lázaro and M. I. Gracia. 2002. The feasibility of using nutritional modifications to replace drugs in poultry feeds. *J. Appl. Poult. Res.* 11:437-452.
- Mateos, G. G., E. López, M. A. Latorre, B. Vicente, and R. P. Lázaro. 2007. The effect of inclusion of oat hulls in piglet diets based on raw or cooked rice and maize. *Anim. Feed Sci. Technol.* 135:100-112.
- Mateos, G. G., E. Jiménez-Moreno, M. P. Serrano, and R. Lázaro. 2012. Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. *J. Appl. Poult. Res.* 21:156–174.
- Marchant-Forde, R. M., A. G. Fahey, and H. W. Cheng. 2008. Comparative effects of infrared and one-third hot-blade trimming on beak topography, behavior, and growth. *Poult. Sci.* 87:1474-1483.
- Mendes, A. S., S. J. Paixão, R. Restelatto, R. Reffatti, J. C. Possenti, D. J. de Moura, G. M. Z. Morello, and T. M. R. de Carvalho. 2011. Effects of initial body weight and litter material on broiler production. *Braz. J. Poult. Sci.* 13:165-170.

- Mendes, M., D. Ecmel, and E. Arslan. 2007. Profile analysis and growth curve for body mass index of broiler chickens reared under different feed restrictions in early age. *Arch. Tierz.* 50:403-411.
- Mendes, M., A. Pala, and E. Dincer. 2008. Body mass index slopes of growth and fat content under different feed restrictions in broiler chickens. *Arch. Gefl.* 72:41-45.
- Metzler, B.U. and R. Monsenthin, 2008. A review of interactions between dietary fibre and gastrointestinal microbiota and their consequences on intestinal phosphorus metabolism in growing pigs. *Asian-Austral. J. Anim. Sci.* 21:603-615.
- Novogen. 2018. Guía de manejo ponedoras comerciales NovogenBrown. Novogen S.A.S. Mauguers-le Foeil, Quintin, France.
- Osman Y., 2020. Controlling pathogenesis in the poultry gut. Pp 317-345 In *IMPROVING GUT HEALTH IN POULTRY*. S.C. Rick (ed) Burleigh Dodds Science Publishing. Cambridge, UK
- Parkhurst C. R., G. J. Mountney. 1988. Incubation and hatchery management. in Pp 65-84 *Poultry Meat and Egg Production*. Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- Patten, J. D., and P. W. Waldroup. 1988. Use of organic acids in broiler diets. *Poult. Sci.* 67: 1178-1182.
- Pattison, M., P.F. McMullin, J.M. Bradbury and D.J. Alexander (eds). 2008. *Poultry diseases*, 6.^a edición. Saunders Elsevier, Filadelfia, Pensilvania, USA.
- Patbandha, T. K., D. D. Garg, S. Marandi, D. G. Vaghamashi, S. S. Patil, and H. H. Savsani. 2017. Effect of chick weight and morphometric traits on growth

- performance of coloured broiler chicken. J. Entomol. Zool. Stud. 5:1278-1281.
- Peak, S. D., T. J. Walsh, C. E. Benton, and J. Brake. 2000. Effects of two planes of nutrition on performance and uniformity of four strains of broiler chicks. J. Appl. Poult. Res. 9:185-194.
- Piestun, Y., T. Patael, S. Yahav, S. G. Velleman, and O. Halevy. 2017. Early posthatch thermal stress affects breast muscle development and satellite cell growth and characteristics in broilers. Poult. Sci. 96:2877-2888.
- Pinchasov, Y, and Y. Noy. 1993. Comparison of post-hatch holding time and subsequent early performance of broiler chicks and turkey poults. Br. Poult. Sci. 34:111-120.
- Pinchasov, Y. 1991. Relation between the weight of hatching eggs and subsequent early performance of broiler chicks. Br. Poult. Sci. 32:109-115.
- Pouillart P. 1998. Role of butyric acid and its derivatives in the treatment of colorectal cancer and hemoglobinopathies. Life Sci. 63 1739-1760.
- Proudfoot, F. G., and H. W. Hulan. 1981. The influence of hatching egg size on the subsequent performance of broiler chickens. Poult. Sci. 60:2167-2170.
- Pottgutter, R., 2008. Fibre in layer diets. Cuxhaven, Germany. Lohmann Information 43(2):22-31.
- Qaisrani, S.N., M.M. Van Krimpen, and R.P. Kwakkel, 2013. Effects of dietary dilution source and dilution level on feather damage, performance, behavior, and litter condition in pullets. Poult. Sci. 92:591-602.

- Ricke, S. C. 2003. Perspectives on the use of organic acids and short chain fatty acids as antimicrobials. *Poult. Sci.* 82:632-639.
- BOE (Boletín Oficial del Estado). 2002. Real Decreto 3/2002, de 11 de enero, por el que se establecen las normas mínimas de protección de las gallinas ponedoras. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. BOE núm. 13, pp 1660-1663.
- Rodado, S. M., B. Saldaña, P. Guzmán, H. A. Mandalawi, R. Rodríguez, L. Cámara, and G. G. Mateos. 2015. Influence of body weight at hatching and inclusion of oat hulls in the diet on growth performance and digestive tract traits of brown-egg laying pullets from 0 to 16 semana of age. *Poult. Sci.* 104 (Suppl. 1):222 (Abstr.).
- Rougière, N., and B. Carré. 2010. Comparison of gastrointestinal transit times between chickens from D+ and D- genetic lines selected for divergent digestion efficiency. *Animal* 4:1861-1872.
- Ruhnke I (2015) The impact of feed treatment on the performance of broilers. *Lohmann Information* 50(2): 18-29. Cuxhaven, Germany.
- Salih, M.E., H.I. Classen, and G.L. Campbell. 1990. Response of chicken fed on hull-less barley to dietary glucanase at different ages. *Anim. Feed Sci. Technol.* 33:139-149.
- SAS Institute. 2004. SAS STATs User's Guide. Version 9.0, SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- Sacranie, A., B. Svihus, V. Denstadli, B. Moen, P. A. Iji, and M. Choct. 2012. The effect of insoluble fiber and intermittent feeding on crop development, gut motility, and performance of broiler chickens. *Poult. Sci.* 91:693-700.

- Sacristán J. P. and M. Del campo. 2014. La calidad de la pollita de un día. *Avinew* 8: 37-43.
- Saldaña, B., P. Guzmán, H. M. Safaa, R. Harzalli, and G. G. Mateos. 2015. Influence of the main cereal and feed form of the rearing phase diets on performance, digestive tract, and body traits of brown-egg laying pullets from hatch to 17 semanas of age. *Poult. Sci.* 94:2650-2661.
- Salvo-Romero E, C. Alonso-Cotoner, C . Pardo-Camacho, B. M. Casado, and M. Vicario. 2015. The intestinal barrier function and its involvement in digestive disease, *Rev Esp Enferm Dig.*; 107(11): 686-696.
- Sapkota D., D. Narahri, and J. D. Mahanta. 2017. *Avian (Poultry) Production*. NIPA; Edición: 2nd ed. New Delhi. India.
- Scheideler, S.E., D. Jaroni, and U. Puthpongsiripon. 1998. Strain, fibre source, and enzyme supplementation effects on pullet growth, nutrient utilization, gut morphology, and subsequent layer performance. *J. Appli. Poult. Res.* 7:359-371.
- Schijns, V. E., S. Van de Zande, B. Lupiani and S. Reddy. 2017. Practical aspects of poultry vaccination. Pp 345-362 In *Avian Immunology*. K. A Schat., B. Kaspers, P. Kaiser (eds) Academic Press , San Diego, CA, USA.
- Senar, J. E., and J. Pascual. 1997. Keel and tarso length may provide a good predictor of avian body size. *Ardea* 85:269-274.
- Serena, A., M.S. Hedemann, and K.E. Bach Knudsen. 2008. Influence of dietary fibre on luminal environmental and morphology in the small and large intestine of sows. *J. Anim. Sci.* 86:2217-2227.

- Shanawany, M. M. 1984. Inter-relationship between egg weight, parental age and embryonic development. *Br. Poult. Sci.* 25: 449-455.
- Shanawany, M. M. 1987. Hatching weight in relation to egg weight in domestic birds. *World's Poult. Sci. J.* 43:107-115.
- Sklan, D., S. Heifetz, and O. Halevy. 2003. Heavier chicks at hatch improves marketing body weight by enhancing skeletal muscle growth. *Poult. Sci.* 82:1778-1786.
- Sklan, D., A. Smirnov, and I. Plavnik. 2003. The effect of dietary fibre on the small intestines and apparent digestion in the turkey. *Br. Poult. Sci.* 44:735-740
- Smith, A., C. Powers and R. K. Beal. 2017 The avian enteric immune system in health and disease. Pp 227-250 in *Avian Immunology*. K. A. Schat, B. Kaspers and P. Kaiser (eds). Academic Press , San Diego, CA, USA
- Steven C., 2020. Microbial ecology and function of the gastrointestinal tract in laying hens. Pp 281-291 In *IMPROVING GUT HEALTH IN POULTRY*. S.C. Rick (ed) Burleigh Dodds Science Publishing. Cambridge, UK
- Stringhini, J. H., A. Resende, M. B. Cafe, N. S. M. Leandro, and M. A. Andrade. 2003. Effect of one-day chicks weight and pre-starter diets on broiler performance. *Braz. J. Poult. Sci.* 32:353-360.
- Sun, Y., E. D. Ellen, J. J. van der Poel, H. K. Parmentier, and P. Bijma. 2014. Modelling of feather pecking behavior in beak-trimmed and non-beak-trimmed crossbred laying hens: Variance component and trait-based approach. *Poult. Sci.* 93:773-783.
- Svihus, B., 2011. The gizzard: function, influence of diet structure and effects on nutrient availability. *World' s Poultry Science Journal* 67:207-224.

- Tahamtani, F.M., M. Brantsater, J. Nordgreen, E. Sandberg, T.B. Hansen, A. Nodtvedt, T.B. Rodenburg, R.O. Moe, and A.M. Janczak. 2016. Effects of litter provision during early rearing and environmental enrichment during the production phase on feather pecking and feather damage in laying hens. *Poultry Science* 95:2747-2756.
- Theander, O., P. Aman, E. Westerlund, and H. Graham. 1994. Enzymatic/chemical analysis of dietary fibre. *AOAC International* 77:703-709.
- Tona, K., O. Onagbesan, B. De Ketelaere, E. Decuyper, and V. Bruggeman. 2004. Effects of age of broiler breeders and egg storage on egg quality, hatchability, chick quality, chick weight, and chick posthatch growth to forty-two days. *J. Appl. Poult. Res.* 13:10-18.
- Thompson K, and M. Hinton. 1997. Anti bacterial activity of formic acid and propionic acid in the diets of hens on Salmonella in the crop. *Br. Poult. Sci.*; 38: 59-65.
- Tuftt, L. S., and L. S. Jensen. 1991. Effect of age of hen, egg weight, and sex on chick performance and lipid retention. *Poult. Sci.* 70:2411-2418
- Ulmer-Franco, A. M., G. M. Fasenko, and C. O'Dea. 2010. Hatching egg characteristics, chick quality, and broiler performance at 2 breeder flock ages and from 3 egg weights. *Poult. Sci.* 89:2735-2742.
- Van Emous, R. A. and M. M. Van Krimpen. 2019. Effects of nutritional interventions on feathering of poultry. In *Poultry Feathers and Skin. The Poultry Integument in Health and Welfare*, Pp 133-150 Olukosi A., V. E. Oliori, A. Heimbrecht, S. Lambton and N. A. French (eds). CABI. Boston. USA.

- Van Krimpen M.M., R.P. Kwakkel, B.F.J. Reuvekamp, C.M.C. Van der Peet-Schwering, L.A. Den Hartog and M.W.A. Verstegen. 2005. Impact of feeding management on feather pecking in laying hens .World's Poult. Sci. J. 61: 663-686.
- Van Krimpen M.M., R.P. Kwakkel, B.F.J. Reuvekamp, C.M.C. Van der Peet-Schwering, L.A. Den Hartog and M.W.A. Verstegen., 2009. Effects of nutrient dilution and non starch polysaccharide concentration in rearing and laying diets on eating behavior and feather damage of rearing and laying hens. Poult. Sci. 88:759-773.
- Van Niekerk, T.C.G.M., and B.F.J. Reuvenkamp. 1999. Enriched cages for laying hens. World's Poultry 15:34-37.
- Van Immerseel V, Fievez J, Buck F, Pasmans A, Martel F, and Haesebrouck R. 2004. Microencapsulated short-chain fatty acids in feed modify colonization and invasion early after infection with *Salmonella enteritidis*. Poult Sci. 83:69-74.
- Van Immerseel F, J. Russell, M. Flythe, I. Gantois, L. Timbermont, and F. Pasmans. 2006. The use of organic acids to combat *Salmonella* in poultry: a mechanistic explanation of the efficacy. Avian Pathol. 35:182-188.
- Van Roovert-Reijrink, I. 2013. Incubation affects chick quality. World's Poultry 29:22-23.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74:3583-3597.

- Van Vugt, P., P. Wijtten, H. B. Perdok and D.J. Langhout Dj. 2001. Provimax improves the technical performance and eggshell quality of laying hens. 13th European Symp. Poult. Nutr. The World's Poultry Science Association, 15-16.
- Vieira, S. L., and E. T. Moran, Jr. 1999. Effects of egg of origin and chick post-hatch nutrition on broiler live performance and meat yields. World's Poult. Sci. J. 55:127-142.
- Willemsen, H., N. Everaert, A. Witters, L. De Smit, M. Debonne, F. Verschuere, P. Garain, D. Berckmans, E. Decuypere, and V. Bruggeman. 2008. Critical assessment of chick quality measurements as an indicator of posthatch performance. Poult. Sci. 87:2358-2366
- Wilson, H. R. 1991. Interrelationships of egg size, chick size, posthatching growth and hatchability. World's Poult. Sci. J. 47:5-20.
- Windisch, W., K. Schedle, C. Plitzner, and A. Kroismayr. 2008. Use of phytogenic products as feed additives for swine and poultry. J. Anim. Sci. 86:140-148.
- Wyatt, C. L., W. D. Weaver, and W. L. Beane. 1985. Influence of egg size, eggshell quality, and posthatch holding time on broiler performance. Poult. Sci. 64:2049-2055
- Zhang, W. H., Y. Jiang, Q. F. Zhu, F. Gao, S. F. Dai, J. Chen, and G. H. Zhou. 2011. Sodium butyrate maintains growth performance through regulating immune response in broiler chickens. Br. Poult. Sci. 52:292-301.