

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ZAMORA
Departamento de Construcción y Agronomía

Memoria para optar al título de Doctor



“Efecto de las condiciones de crianza sobre la
producción y la calidad de la carne de pollos
ecológicos”

Aínhua Sarmiento García
Zamora, 2019

Dra. Isabel Revilla Martín, Profesora del área de Tecnología de los Alimentos en la Escuela Politécnica Superior de Zamora y Dr. Carlos Palacios Riocerezo, Profesor del área de Producción Animal de la Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales de la Universidad de Salamanca.

CERTIFICAN:

Que la Tesis Doctoral titulada “**Efecto de las condiciones de crianza sobre la producción y la calidad de la carne de pollos ecológicos**” que se presenta para optar al grado de Doctor por la Universidad de Salamanca, ha sido realizado por Ainhoa Sarmiento García con DNI 71036122-R, reúne los requisitos necesarios para su evaluación y autorizan la presentación de la misma, al considerar que se han alcanzado los objetivos inicialmente previstos.

Y para que así conste, a efectos legales, expiden el presente certificado

Zamora, 28 de octubre de 2019

Isabel Revilla Martín

Carlos Palacios Riocerezo

*En medio de cada dificultad,
reside la oportunidad*

Albert Einstein

Agradecimientos

En primer lugar, mi agradecimiento a mis directores de Tesis. A Isabel Revilla, por haber creído en aquel sueño que le contaba una voz desconocida por teléfono. Por la confianza depositada, por la paciencia y por la transmisión de conocimientos.

A Carlos Palacios, por sus ganas incansables de nuevos proyectos. Por haberme hecho conocer otro aspecto dentro de la producción ganadera totalmente diferente al que tenía en mi mente hasta la fecha. Por la profesión veterinaria que nos une y por haberme demostrado que los caminos de ésta, son infinitos.

A mis padres; a mi madre, por haberme enseñado que no hay nada imposible. Por todo su apoyo, que no tendré manera nunca de agradecerse. Por sus palabras acertadas en cada momento, y sobre todo cuando el camino se hace más cuesta arriba. Por ella, que lo es todo. A mi padre, por haberme inculcado durante años el valor del trabajo continuo, de la perseverancia y de la superación. Porque juntos forman el gran equipo responsable de todos los valores que nosotras tenemos.

A mis hermanas, que son el mejor regalo que mis padres me han podido hacer. A mi hermana Anushtha, porque ella me ha enseñado que una sonrisa tiene poder curativo, siempre, y en cualquier momento. A Raquel, por haber definido a la perfección durante años la combinación entre esfuerzo, constancia y resultados.

Al resto de mi familia, que ha estado apoyándome y animándome durante años en los momentos más difíciles. Creo que la palabra gracias se me queda corta. Y con ello, a mis estrellas, a la primera, por el gen del amor incondicional hacia los animales, y a la segunda, que hace no mucho decidió hacer una parada en el camino y acompañarme de otra forma. No tengo duda que hoy, ahí arriba hay una celebración inmensa.

A todos aquellos que forman parte de mi segunda casa. En especial, mi cariño para Emilio y Mayte, que hace unos años apostaron por mí, y creyeron en mis proyectos. Por la confianza depositada y por la cercanía, siempre y en cualquier momento. También mi cariño especial a Carmen, que tantas veces ha sido consuelo y apoyo.

No me olvido del resto del equipo que ha hecho posible esta tesis. A Jorge y Alicia de la granja "El Espolón" que báscula en mano, han sufrido días de calor y frío apoyándome en esta locura. Al equipo del IES Alfonso IX, por su ayuda prestada en estos meses. A Marisol de la EPSZ, por su paciencia, por su atención ilimitada, y por sus ganas de ayudar. A Inmaculada de la Facultad de Ciencias Químicas de Salamanca por todos los conocimientos enseñados.

Por último, mi especial cariño a la Universidad de León, a mi Facultad de Veterinaria, y mi admiración incondicional por su actual decana María Teresa Carbajo, por su valía dentro de la profesión veterinaria y su labor al frente de esa gran casa.

Finalmente, a toda esa gente que en estos años ha oído hablar de este duro camino. A todos aquellos que no les he dado toda la atención que merecían en este tiempo pero que, sin embargo, han seguido a pie del cañón durante esta montaña rusa; espero pueda compensároslo y superarlo con creces.

En definitiva, a todos los que de forma directa o indirecta habéis contribuido a completar un capítulo más de mi vida académica. Hoy comienza una nueva etapa, y con éllo un nuevo sueño.

Gracias, gracias y más gracias

A ella, por ser luz incluso en la distancia.

6.1.1 Perfil de ácidos grasos	78
6.1.2 Oxidabilidad de las grasas	80
6.2 Características tecnológicas	81
6.2.1 pH.....	81
6.2.2 Capacidad de retención del agua.....	82
6.3 Características organolépticas.....	83
6.3.1 Color de la carne	83
6.3.2 Textura	85
6.3.3 Flavor	87
7. ESPRECTROSCOPIA DE INFRAROJO CERCANO (NIRS).....	88
7.1 Fundamentos del NIRS	88
7.2 Espectroscopia de reflectancia	88
7.3 Interpretación de los espectros.....	89
7.4 Ventajas e inconvenientes de la tecnología NIR.....	91
7.5 Aplicaciones del NIRS. Usos para la carne fresca.....	92
III. OBJETIVOS	95
OBJETIVO GENERAL	96
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	97
1. NORMAS DE CALIDAD Y BIENESTAR ANIMAL.....	98
2. ENCUESTAS Y ELABORACIÓN DE LA TESIS	98
3. PARÁMETROS PRODUCTIVOS	99
4. ANÁLISIS DE CALIDAD	99
4.1 Determinación del pH.....	100
4.2 Determinación del color.....	101
4.3 Jugo exprimible	101
4.4 Cenizas	102
4.5 Humedad.....	103
4.6 Determinación de la grasa total.....	103
4.7 Perfil de ácidos grasos	104
4.8 Oxidabilidad de las grasas (Método TBARS)	107
4.9 Pérdidas por cocinado.....	108
4.10 Textura	109
5. NIRS	110
5.1 Sistema óptico.....	110
5.2 Estandarización del equipo	111
5.3 Registro de muestras	112
6. ANALISIS ESTADISTICOS	112

V. RESULTADOS.....	113
CAPITULO 1: Resultados Preliminares. Situación de la producción avícola ecológica en Castilla y León.....	115
CAPÍTULO 2: Efecto de las condiciones ambientales sobre el crecimiento de pollos durante la fase inicial de vida en sistemas de producción ecológica	121
SECCIÓN 1: Efecto de la densidad de población sobre el rendimiento productivo durante el primer mes de vida en pollos de crecimiento medio-lento bajo condiciones de producción ecológica.	123
RESUMEN	123
INTRODUCCIÓN	123
DISEÑO EXPERIMENTAL.....	124
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	127
CONCLUSIONES.....	131
SECCIÓN 2: Efecto de la temperatura sobre el rendimiento productivo durante el primer mes de vida en pollos de crecimiento medio-lento bajo condiciones de producción ecológica.	132
RESUMEN	132
INTRODUCCIÓN	132
DISEÑO EXPERIMENTAL.....	133
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	135
CONCLUSIONES.....	139
CAPÍTULO 3:Efecto de las condiciones ambientales y el tipo de híbrido utilizado sobre el crecimiento y la calidad de la carne de pollos en sistema de producción ecológica	141
RESUMEN.....	142
INTRODUCCIÓN.....	143
DISEÑO EXPERIMENTAL	144
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	150
CONCLUSIONES	190
CAPITULO 4 Efecto del uso harina de insectos en la alimentación de pollos de crecimiento medio-lento	1933
SECCIÓN 1: Efecto de la inclusión de harina de larva de <i>Calliphora sp.</i> en la dieta de pollos de crecimiento medio-lento.durante el primer mes de vida en sistemas de producción ecológica.....	194
RESUMEN	194
INTRODUCCIÓN	194
DISEÑO EXPERIMENTAL.....	196
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	198

CONCLUSIONES.....	209
SECCIÓN 2: Efecto de la inclusión de harina de larva de <i>Calliphora</i> <i>sp.</i> en la dieta durante el primer mes de vida sobre la calidad de la carne de pollos de crecimiento medio-lento.	211
RESUMEN	211
INTRODUCCIÓN	212
DISEÑO EXPERIMENTAL.....	212
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	215
CONCLUSIONES.....	233
VI. CONCLUSIONES GENERALES	235
VII. RESUMEN	239
VIII. BIBLIOGRAFÍA	243
ANEXO I. ENCUESTA	265

Lista de abreviaturas

- **ALA** Ácido α -linoleico
- **BHA** Hidroxianisol butilado
- **CE** Comunidad Europea
- **CLM** Harina de larva *Calliphora sp.*
- **CY** ColorYield
- **d** Día
- **DHA** Ácido docosahexaenoico
- **EM** Energía metabolizable
- **EPA** Ácido eicosapentaenoico
- **FAO** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
- **FB** Fibra Bruta
- **g** Gramos
- **GB** Grasa Bruta
- **GLA** Ácido- γ -linoleico
- **GMD** Ganancia Media Diaria
- **ha** Hectárea
- **HDL** Lipoproteínas de alta densidad
- **HI** Mosca soldado (*Hermetia illucens*)
- **Hr** Hora
- **IC** Índice de conversión
- **Kcal** Kilocaloría
- **kg** Kilogramo
- **LDL** Lipoproteínas de baja densidad
- **LMC** Larvas de Mosca Común (*Musca domestica*)
- **LMS** Larvas de Mosca Soldado (*Hermetia illucens*)
- **MAPA** Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
- **MC** Mosca común (*Musca domestica*)
- **MDA** Malondialdehído
- **Mj** Megajulio
- **ml** Mililitros
- **MS** Materia Seca
- **MUFA** Ácidos grasos monoinsaturados
- **n-3** Ácidos grasos omega 3
- **n-6** Ácidos grasos omega 6
- **NIRS** Espectroscopía de infrarrojo cercano
- **NOP** Programa Ecológico Nacional
- **°C** Grados Centígrados
- **OGM** Organismos genéticamente modificados
- **PAP** Proteína animal procesada
- **PB** Proteína Bruta
- **PLS-DA** *Partial Least Squares*
- **PUFA** Ácidos grasos poliinsaturados
- **PV** Peso Vivo

- **RB** RedBro
- **RTA** Modelos de regresión múltiple
- **SFA** Ácidos grasos saturados
- **TBA** Ácido tiobarbitúrico
- **TBARS** Sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico
- **TCA** Ácido tricloroacético
- **TM** Gusano amarillo (*Tenebrio molitor*)
- **UE** Unión Europea
- **vs.** *Versus*

I. INTRODUCCIÓN

Tras la Segunda Guerra Mundial, tuvo lugar un importante incremento en el número de la población humana desencadenando una preocupación por producir un mayor número de alimentos. Numerosos trabajos de investigación como los publicados por Borlaug y colaboradores reflejaron este problema; estos autores centraron su objetivo en la búsqueda de la producción de cultivos con un mayor rendimiento (Palacios, 2010). La mejora de las variedades de estos cultivos conllevó un incremento en el uso de fertilizantes y pesticidas para mantener la alta productividad. Sin embargo, durante los últimos años ha habido una preocupación creciente por una producción sostenible que permita producir el máximo, respetando el entorno.

Actualmente la humanidad se enfrenta al reto de mantener sobre el planeta una población creciente que supera los 7.400 millones de habitantes y que podría alcanzar los 8.500 millones en 2030 y 9.700 millones en 2050, según las previsiones de la Organización de Naciones Unidas (FAO, 2009). Por ello, la búsqueda y el desarrollo de estrategias que permitan alimentar a esta población creciente bajo un sistema de producción sostenible supone hoy en día una prioridad. La producción de alimentos bajo unas premisas de respeto al medio ambiente permitirá garantizar una armonía entre el incremento poblacional y la demanda de alimentos prevista para los próximos años (Früh *et al.*, 2015).

Los productos cárnicos constituyen una de las fuentes de alimentos más demandadas en las cestas de los consumidores. Por lo que, en paralelo al incremento de población previsto, según el informe publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), se espera un incremento del consumo de carne a nivel de mundial (European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development, 2018). Es por ello por lo que se prevé un aumento de la producción cárnica de un 11,4 % en la próxima década, permitiendo abastecer la demanda de la población creciente. Se espera alcanzar en el año 2026 los 353 millones de toneladas de carne producida asociada al crecimiento de la población mundial, al aumento de los ingresos y el éxodo rural experimentado en los últimos años, principalmente en las regiones en desarrollo. En este contexto, es probable que las aves de corral se presenten como una de las carnes disponibles con mayor importancia para hacer frente al incremento de la demanda cárnica prevista (Allegreti *et al.*, 2018; Snipes, 2017).

No debemos olvidar que la base del incremento de la producción cárnica deriva de un aumento e intensificación de la producción ganadera. Durante los últimos cuarenta años, la ganadería española ha adquirido un gran desarrollo, dando lugar a una potente y eficiente ganadería intensiva (aves, cerdos, vacuno de leche y cebaderos de carne), independiente del medio, y que cuenta con un gran consumo de inputs energéticos y materias primas importadas. Esta situación ha provocado una disminución de la ganadería extensiva con el consiguiente abandono de los recursos naturales propios (Nijdam *et al.*, 2012). En términos de producción ganadera general; la ganadería intensiva utiliza aproximadamente el 70 % de la tierra agrícola total contribuyendo aproximadamente el 15 % a las emisiones antropogénicas globales de gases de efecto invernadero (Steinfeld *et al.*, 2006; Nijdam *et al.*, 2012). Por lo que, para hacer frente al incremento productivo que se espera en los próximos años, los

sistemas pecuarios tienen el desafío de aumentar los niveles de producción reduciendo su impacto ambiental, mientras que a la vez son económicamente viables y socialmente responsables (FAO, 2009).

Es en este contexto donde surge el concepto de ganadería ecológica, como alternativa a la ganadería convencional, basándose en la integración y adaptación de los animales en el medio natural. En estos sistemas agroecológicos, los animales gozan de un importante régimen de libertad en pastoreo la que les permite satisfacer sus necesidades vitales desplegando sus potencialidades genéticas y conductas sociales (Von Borell *et al.*, 2004). El hecho de que los consumidores asocien la producción ecológica no solo con un buen estado de salud, bienestar animal y preocupaciones medioambientales, sino también con un buen gusto es muy positivo para el sector, permitiendo su inclusión en la cesta de la compra diaria (Fanatico *et al.*, 2008).

De esta forma durante los últimos años, influenciado por la recuperación económica tras la crisis y la conciencia social existente, el consumidor busca una nutrición que no solo satisfaga sus necesidades, sino que también contemple otros aspectos; de manera que se prime el bienestar animal, el sistema de producción respetuoso con el medio y la calidad final del producto (Fanatico *et al.*, 2008). La actitud de la sociedad hacia la agricultura y la ganadería ha cambiado drásticamente durante las últimas décadas. Ya no sólo cuenta, qué y cuánto se produce, sino también cómo se produce (Palacios., 2010).

De todo el sector de la ganadería ecológica, el sector la producción ecológica de aves parece ser uno de los puntos clave de este tipo de mercado. El consumo de productos avícolas ecológicos se ha incrementado de forma notable en diferentes países (Fanatico *et al.*, 2007), siendo por tanto el de más rápido crecimiento dentro del mercado ecológico. Así, estos productos han sido considerados como la puerta de entrada para muchos consumidores que inician su compra en el mercado ecológico (Sossidou *et al.*, 2015). En general, los productos avícolas ecológicos se considera que poseen mejores valores nutricionales tanto por los vendedores como por los consumidores; ya que parece que presentan menor contenido en grasa y mayores concentraciones de vitaminas y minerales (Fanatico *et al.*, 2005). Además, la producción de animales bajo sistemas de bienestar animal permite, entre otros beneficios, un mayor movimiento de los pollos frente a los sistemas de producción intensiva, que a su vez repercute de forma positiva sobre las cualidades de la canal de estos animales (Fanatico *et al.*, 2008; Moyle *et al.*, 2014). El aumento del interés de los consumidores europeos por los productos ecológicos ejerce una presión sobre los granjeros ecológicos europeos para que aumenten la oferta de productos de granja (Sundrum *et al.*, 2006). En contraste, los productores ecológicos encuentran una serie de limitaciones que les impide avanzar tan rápido como las exigencias del mercado.

En la producción avícola el sistema de crianza es el factor más complejo que modifica la cantidad y calidad de estos productos. Este sistema agrupa las condiciones ambientales, (como el programa de iluminación, la temperatura, la ventilación, la humedad relativa o la densidad) así como el valor nutritivo de la alimentación. Cada uno de estos elementos, tomados en conjunto o por separado, puede constituir una oportunidad óptima para la producción avícola o

convertirse en un factor estresante que causa problemas de salud y disminuye la productividad del animal (Batkowska *et al.*, 2017). De esta forma, mientras que la climatología puede ser considerada un factor despreciable en las producciones de pollo intensivo debido a que las condiciones ambientales (humedad, temperatura y ventilación) de la sala donde se encuentran están bajo control, no ocurre lo mismo en las producciones de campo abierto. En este sistema, los animales tienen acceso al exterior, donde lógicamente las condiciones ambientales no se encuentran contraladas. Distintos estudios han mostrado que cambios de la temperatura provocan estrés sobre los animales y pueden alterar incluso, la calidad de la carne (Akşit *et al.*, 2006; Bond *et al.*, 2004, Tang *et al.*, 2013; Qureshi *et al.*, 2018). Hasta la fecha, no existen estudios disponibles que evalúen la influencia de los cambios climatológicos sobre la producción avícola ecológica. Así mismo, las condiciones de alojamiento difieren de la producción industrial. Las densidades de producción bajo las cuales se mantienen los pollos varían enormemente entre los países y los sistemas de cría. La densidad establecida para los sistemas de producción alternativa en la legislación, son inferiores a los que se producen de forma industrial. Se conoce que a medida que se incrementa la densidad se produce una reducción sobre el crecimiento individual y el bienestar de los animales individual (Sorensen *et al.*, 2000; Feddes *et al.*, 2002), sin embargo, no se ha evaluado el efecto que puede tener la reducción de la densidad por debajo de la que se establece en la legislación de producción ecológica.

Las estirpes de pollos utilizadas en la producción industrial se encuentran altamente controladas, conociéndose con total certeza los parámetros productivos de las mismas. Generalmente, los pollos utilizados en granjas de producción intensiva proceden de híbridos que alcanzan altos pesos de sacrificio en cortos periodos de tiempo. En el caso de la producción ecológica, los productores buscan razas rústicas que resistan las condiciones ambientales y que alcancen el peso de sacrificio a una edad mayor que en el caso de los pollos industriales (Wallenbeck *et al.*, 2016). Sin embargo, la gran heterogeneidad racial existente en el sector hace que la información disponible de las razas utilizadas y las diferencias productivas entre las mismas sea limitada.

Una de las diferencias más claras entre la producción ecológica y la industrial viene determinada por el alimento utilizado en estas especies. La alimentación de los animales producidos bajo condiciones ecológicas requiere productos de origen ecológico. Los alimentos proteicos utilizados en la ganadería convencional suelen basarse en el aporte de soja, que procede de cultivos genéticamente modificados, y cuyo uso en la producción ecológica queda restringido en base a la normativa europea (Van Krimpen *et al.*, 2013). La Comisión Europea para la Agricultura Ecológica ha considerado que la búsqueda de alternativas al uso convencional de la soja que permitan aportar proteínas en un nivel proteico adecuado, tanto en calidad como en cantidad, supone un factor limitante para la producción ecológica requiriéndose una pronta búsqueda de soluciones (Zollitsch *et al.*, 2004; Früh *et al.*, 2015; Flachowsky *et al.*, 2017).

En base a lo anteriormente citado, podemos concluir que la ganadería ecológica se presenta como una gran oportunidad de estudio; son muchos los factores que condicionan esta ganadería y su conocimiento hoy en día es limitado.

1. PLANTEAMIENTO

La presente tesis pretende ahondar en el estudio de algunos de los factores que condicionan la producción de pollos ecológicos. Para una mejor comprensión, el documento se ha estructurado en bloques. El primer bloque recoge la introducción general del trabajo; permitiéndonos conocer las generalidades sobre el sector, y los factores que condicionan la producción avícola ecológica. El segundo bloque describe la metodología utilizada para cada uno de los experimentos de una forma detallada. El bloque restante correspondiente a los resultados, se ha dividido a su vez en capítulos que recoge las experiencias llevadas a cabo.

El **primer capítulo** se corresponde con los resultados preliminares. Se realizó una encuesta a una muestra representativa de ganaderos de producción de pollos en régimen ecológico en la comunidad de Castilla y León. Las preguntas realizadas nos permitieron conocer el estado del sistema productivo, las limitaciones que encontraban frente a la producción industrial, y las similitudes y diferencias halladas entre las granjas consultadas. Estos resultados nos sirvieron como base para el diseño de los experimentos posteriores

Así, el **segundo capítulo**, incluye dos secciones. Por un lado, se evaluó la influencia de los cambios de la densidad en pollitos, y por otro, la influencia del descenso de temperatura en la primera semana de vida de los animales y la posterior recuperación de la temperatura adecuada. En ambos casos, se analizó la influencia de estos factores durante el primer mes de vida sobre el desarrollo productivo en animales procedentes de un sistema de producción ecológica.

En el **tercer capítulo** se estudió el efecto de la estirpe genética utilizada (híbrido de crecimiento medio-lento) y las condiciones ambientales de crianza sobre el rendimiento productivo de pollos durante toda su vida productiva (1-120 días) en sistemas de producción ecológica. Los animales fueron analizados tanto desde el punto de vista del crecimiento como de la calidad de la carne. Se evaluó la capacidad del sistema de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) para discriminar las muestras de la carne en función de estos dos factores (estirpe y condiciones ambientales). Seguidamente, a partir de los resultados productivos obtenidos, se realizó un modelo predictivo de crecimiento en función del periodo de crianza y de la estirpe utilizada como herramienta de ayuda para los ganaderos. Así mismo, se evaluó la influencia del peso del primer día de vida, sobre el rendimiento productivo del pollo al cabo de un mes de vida.

Finalmente, se planteó en el **cuarto capítulo** la búsqueda de fuentes alternativas proteicas; donde se incluyeron los insectos como reemplazamiento parcial de la fuente proteica utilizada. Se evaluó una dieta control y tres dietas tratamiento que incluyeron harina de larva *Calliphora sp.*, en distintos porcentajes y que fueron administradas a los pollos durante el primer mes de vida, recogiendo parámetros productivos de estos animales que posteriormente fueron analizados. Al cabo de un mes, se tomó una muestra representativa de los individuos y se llevó a cabo el análisis de calidad de la carne. A los pollitos restantes, se les retiró el tratamiento y fueron alimentados con un mismo pienso control hasta alcanzar los 60 días. Posteriormente se

analizó la calidad de la carne de los mismos. Así mismo, se utilizó el sistema NIRS para evaluar la capacidad de discriminación del método en función del nivel de sustitución del pienso por harina de larva.

II. ANTECEDENTES

1. SITUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN AVÍCOLA

El desarrollo socioeconómico español a partir de los años sesenta llevó consigo el aumento de la demanda de proteínas animales, sobre todo de productos cárnicos, en contraste con el tipo de nutrición que ocupaba las etapas anteriores, tanto de pre-guerra como de post-guerra. La satisfacción de la demanda sólo podía alcanzarse mediante la intensificación de los métodos productivos pecuarios. Comienza así la explotación de una ganadería basada en la utilización de las especies más productivas (aves, cerdos) y en el empleo de animales selectos alimentados con piensos compuestos. La avicultura (de puesta y de carne) es la primera en desarrollarse, actuando de hilo conductor para la penetración de avanzadas técnicas en manejo, nutrición y genética de los animales; que procedían de Estados Unidos y hasta entonces eran desconocidas en España (Martín, 2001).

La principal especie productora de carne de ave es la gallina (*Gallus gallus domesticus*), conociéndose como pollos broilers a los animales de esta especie dedicados a la explotación industrial para carne (MAPA, 2018). Actualmente hay dos grupos principales de granjas avícolas de esta especie: para gallinas ponedoras y para producción de carne (pollos de engorde). La producción avícola de carne (pollos de engorde) es una de las industrias alimentarias más importantes, con un aumento de 633,34 % en la producción mundial en el período comprendido entre 1972 y 2012 (FAOSTAT, 2017). Este porcentaje de incremento es el más alto en comparación con los cinco principales tipos de producción animal de carne: pavo (399,18 %), cerdo (268,61 %), vacuno (164,22 %) y ovino (149,62 %). En términos de volumen, el 37,4 % de los kilos de carne fresca consumida en el hogar pertenecen a carne fresca de pollo, el 28,8% son de carne fresca de cerdo, y el 15,1 % son de carne fresca de vacuno. En términos de valor, lidera la categoría la carne fresca de cerdo con el 28,3 %, seguida de la carne de pollo con el 25,7 % y por último la carne fresca de vacuno con el 24 % (MAPA, 2018).

Durante los últimos años se destaca el incremento de la producción avícola contando con 131,6 millones de toneladas (MAPA, 2018), asociado a tres factores principales:

- La relación existente entre una carne de alta calidad y un precio asequible para el consumidor (Marangoni *et al.*, 2015).
- La aceptación de la carne de esta especie por casi todos los grupos culturales y religiosos, mientras que animales como el cerdo, el vacuno o el conejo tienen problemas de aceptación en algunas culturas o religiones.
- Entre todos los tipos de producción ganadera intensiva, la producción de pollos de engorde es la más eficiente en términos de conversión alimenticia (Steinfeld *et al.*, 2006).

En consonancia con el incremento de la población previsto entre los años 2000-2050, se espera que el crecimiento del sector ganadero mundial continúe, aumentando el consumo de productos de origen animal (FAO, 2014). Mientras que la demanda de carne de vaca y cerdo podría aumentar en un 66 % y un 43 % respectivamente, se espera que la carne de ave tenga el mayor

crecimiento, con 121 %, y la demanda de huevos podría aumentar en un 65 %, lo que supone un futuro prometedor para los productores de esta especie

1.1 Situación mundial de la producción avícola

La demanda de alimentos procedentes de animales está aumentando debido al crecimiento de la población, el aumento de los ingresos y la urbanización (FAO, 2009), y la carne de aves de corral ha mostrado la tendencia más rápida en las últimas décadas. La tasa de crecimiento anual promedio mundial de la carne de aves de corral en los últimos 50 años fue del 5 % (FAOSTAT, 2017), mientras que fue de solo 1,5 % para la carne de vacuno, 3,1 % para la carne de cerdo y 1,7 % para los pequeños rumiantes (Mottet *et al.*, 2017). A nivel mundial, la producción de carne de pollo se ha incrementado en este último año (un 1,7 %) alcanzándose los 90,7 millones de toneladas. La distribución de la cabaña ganadera no es homogénea en los distintos continentes. El continente asiático ocupa la primera posición, con casi la mitad de la producción mundial; seguido de América (incluyéndose América del Norte y del Sur) y finalmente Europa (FAOSTAT, 2017). Entre los principales países productores destacan EEUU, Brasil, la UE y China (MAPA, 2018).

A nivel mundial, se cuenta con más de 23 mil millones de aves de corral, lo que supone tres aves por persona, aumentando el consumo mundial per cápita de carne de ave de 2.88 kg a 14,13 kg (FAOSTAT, 2017). La distribución de la producción de carne de ave mundial por países está encabezada por EEUU con 17.254.000 toneladas (19,8 % de la producción mundial); seguido por la UE con 11.118.000 toneladas (12,8 % de la producción del mundo); China con 13.000.000 de toneladas (14,9 % del total); y Brasil con 12.680.000 toneladas (el 14,6 % del total) (MAPA, 2018). Estos tres países concentran casi la mitad de toda la producción mundial. Otros países como Irán, India, Pakistán o México se encuentran inmediatamente detrás de los países anteriormente citados (FAOSTAT, 2017).

Estas aves son criadas en una amplia gama de sistemas de producción, y proporciona principalmente carne, huevos y estiércol para la fertilización de cultivos. La carne de aves de corral y los huevos se encuentran entre las fuentes de alimentos de origen animal más consumidos a nivel mundial en una gran diversidad de culturas, tradiciones y religiones, haciéndolos clave para la seguridad alimentaria y la nutrición. Dentro del sector ganadero, las aves de corral emergen como el subsector más eficiente en el uso de recursos naturales y suministro de proteína para abastecer una demanda creciente mundial (Mottet *et al.*, 2017).

La mayoría de la producción de carne de ave (92 %) proviene de sistemas industrializados de pollos de engorde y las ponedoras solo contribuyen al 6 % del total. Pero estas figuras globales esconden diferencias regionales importantes. Los sistemas de producción alternativos, en los que permiten el acceso de los animales a patios, suponen una contribución significativa a los huevos y la producción de carne de aves de corral en Europa oriental, Asia meridional, África subsahariana y, en menor extensión, Asia Oriental y América Latina y el Caribe (Mottet *et al.*, 2017).

1.2 Situación de la producción avícola europea

En la Unión Europea (UE), la producción de pollo en 2017 se incrementó en un 0,1 % con respecto al pasado año contando con 14.617 miles de toneladas. Polonia con el 16,3 %, y Reino Unido con el 13,7 % fueron los dos países con mayor producción bruta de aves en Europa. España aportó al conjunto de la producción comunitaria de carne de aves en 2017 el 10,6 %, ocupando la cuarta posición (Figura II.I). Se espera que la producción crezca también otros países como en Bélgica, Italia, Países Bajos, Rumania y Reino Unido en los próximos años (Snipes, 2017).

Gracias a su bajo precio relativo y una imagen saludable, la carne de las aves de corral es la única para la que se espera un aumento del consumo en la UE con un crecimiento anual de 0,3 %, para llegar a los 22,8 kg per cápita para 2025 (Audran *et al.*, 2015; EU Agricultural Outlook, 2015). También, es la única carne para la cual tanto la producción como el consumo se espera que se expanda en el 2015-2025 en un 3,8 % y un 3,4 %, respectivamente. Con el apoyo de una demanda global en continua expansión, la UE aumentará sus exportaciones gracias a la valorización de diferentes cortes de aves de corral (EU Agricultural Outlook, 2015).

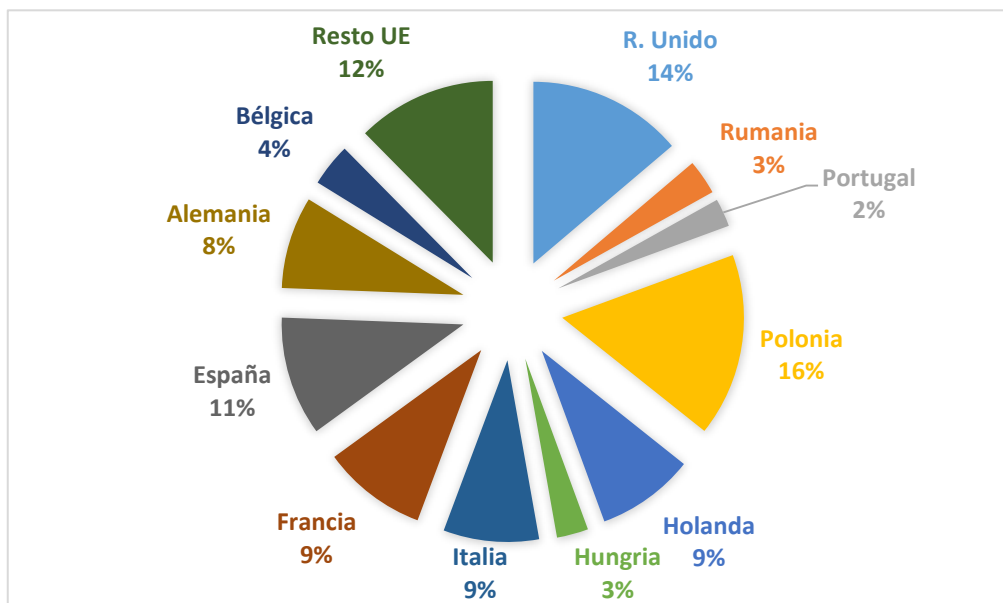


Figura II.I. Distribución (%) de la producción de carne de pollo en la UE para cada país miembro en el año 2017. Fuente: MAPA, 2018.

Estos cambios quedan justificados por las modificaciones en las tendencias de consumos. Varios países de la UE como Alemania, Francia y Polonia, han cambiado las tendencias hacia la compra de pollos frente a otras especies (como el cerdo o la ternera) considerándola una carne más sana y menos grasa y asociándola con beneficios para la salud (Latter-Dubbois, 2000). Frente a esto, España continúa siendo una excepción, ya que todavía se prefiere la carne de cerdo sobre la carne de pollos de engorde.

La Figura II.II refleja la evolución de la producción de pollo en la EU desde el año 2007 hasta el 2017. Se observa un incremento progresivo de la producción desde que se comenzara en el año 2007 con 11.051 tonealadas. A pesar que el crecimiento fue ligeramente menor en el 2017 con respecto a los años anteriores (MAPA, 2018). Las tendencias productivas plantean un futuro esperanzador para la producción de pollo.

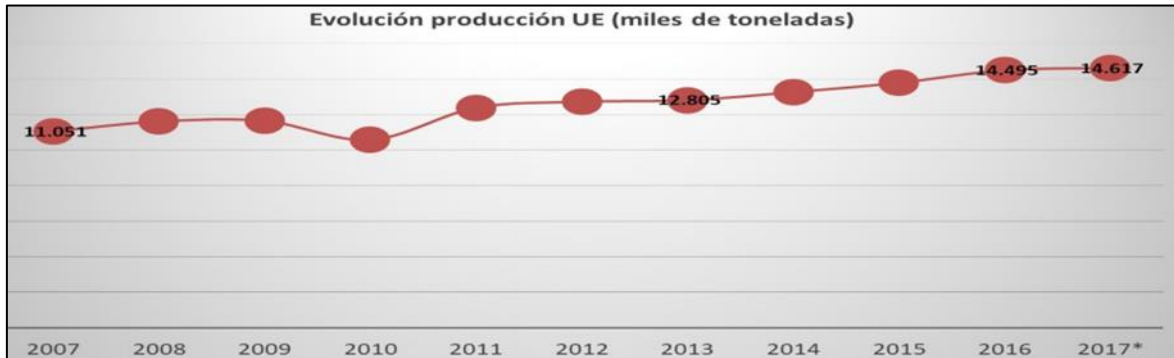


Figura II.II. Evolución de la producción de carne de pollo (toneladas) en la UE desde el año 2007 hasta el 2017. Fuente: MAPA, 2018.

Se prevé que la producción de carne de aves de corral de la UE aumente un 4,6 % entre 2017 y 2030 impulsada por un crecimiento mundial y el consumo interno; asociado a la recuperación económica prevista que favorece el consumo de fuentes baratas de proteínas y el aumento de las exportaciones (Snipes *et al.*, 2017). En vista de lo anterior, las exportaciones de la UE seguirán aumentando moderadamente en un promedio del 1,4 % anual hasta 2025, cuando previsiblemente alcanzará 1,6 millones de toneladas. Una característica específica del comercio de carne de aves de corral es que la UE está exportando cortes de menor calidad y más baratos (como patas y alas) e importando cortes con un mayor valor agregado (como pechugas y preparaciones cocidas) (EU Agricultural Outlook, 2015).

En la Unión Europea, y en España en mayor medida, los productos avícolas predominantes son la carne de pollo y los huevos de gallina producidos en condiciones intensivas. Frente a esto, durante los últimos años en varios estados miembros de la UE se ha visto favorecido, por la demanda de los consumidores la producción de pollos en sistemas libres y/o ecológicos. Además, algunos productores están cambiando la producción a otras especies avícolas como el pavo o el pato (Snipes, 2017).

1.3 Situación de la producción avícola en España

Hasta no hace muchos años, comer pollo en España era considerado un lujo excepcional, únicamente presente en las mesas de los hogares en días festivos y celebraciones especiales. De hecho, en 40 años, el pollo ha pasado de ser un producto de lujo a un producto de gran consumo. En nuestro país, la industria de la carne de pollo despegó a partir de los años 60. En esta época, comenzaron a utilizarse los avances tecnológicos en los procesos relacionados con el pollo propiciando el abaratamiento de su coste. En la actualidad el pollo

es una de las carnes frescas más demandadas en España y, dada la versatilidad de su carne, permite la realización de múltiples recetas y presentaciones (Martín, 2001).

En España, la producción total de carne de aves (pollos, pavos, patos, etc.) se estimó en 2017 en 1,54 millones de toneladas frente a los 1,52 millones del año 2016. Como cada año, el grueso de la producción de carne en el sector de las aves fue la de broilers suponiendo el 81,5 % de la carne de ave consumida (MAPA, 2018). Estos datos dan una idea clara de la importancia que la producción de carne de pollo tiene en el sector avícola español. La mayor parte de la producción de carne de pollo se concentra en cuatro comunidades autónomas: Cataluña con 28,7 % del total nacional, la Comunidad Valenciana con un 16,9 % del total, Andalucía con un 15,8 %, y Galicia con un 13,1 %, que producen torno al 71 % de la producción avícola española (MAPA, 2018).

El sector de la carne de aves representó en 2017 el 4,7 % de la Producción Final de la rama agraria y el 13,5 % de la Producción Final de la rama ganadera. En ambos casos porcentajes inferiores a los del año 2015. Al contrario que el año anterior, la cantidad de carne producida aumentó un 6,3 %, al tiempo que los precios bajaron un 10 %. Con estos datos, el valor generado por el sector avícola de carne en 2016 se redujo un 4,4 % y se situó en 2.207 millones de euros (MAPA, 2018).

El precio del pollo en 2017 comenzó con una caída, que se mantuvo hasta mediados de abril, para experimentar seguidamente un fuerte incremento hasta finales de verano. A partir de entonces las cotizaciones comenzaron a caer hasta situarse en niveles inferiores a los de 2016 para volver a recuperarse en la última parte del año y terminar con cotizaciones superiores a las de los dos últimos años. La media anual en 2017 acumuló un descenso del 0,6 % respecto a la media anual del año anterior. Además, los precios medios de los pollos en España estuvieron por debajo de la media de la Unión Europea (un 9,7 % a favor del precio europeo) (MAPA, 2018).

En el 2017 se han exportado un total de 236.164 toneladas de carne de pollo, lo que supone un descenso del 7,67 % respecto al año 2017. El motivo de este descenso lo encontramos en la decisión de las autoridades de Sudáfrica de prohibir las importaciones de carne de ave procedentes de la UE por motivos sanitarios (asociado a los múltiples brotes de gripe aviar). Siendo Sudáfrica el primer destino de nuestras exportaciones de carne de ave, el sector no ha podido compensar el cierre de este destino con la apertura de otros nuevos, lo que ha hecho caer las exportaciones (MAPA, 2018). En lo relativo al abastecimiento, el incremento de la producción durante 2017 unido al aumento de las exportaciones ha provocado un aumento del grado de autoabastecimiento, que este año se sitúa en el 108 %.

2. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DEL POLLO DE ENGORDE

La producción avícola es muy diversa y hay muchas tipologías disponibles que responden a diferentes objetivos (Mottet *et al.*, 2017). Los distintos sistemas de producción difieren tanto en las razas utilizadas, como en los rendimientos productivos obtenidos, la ganancia económica para el productor y la calidad del producto final. Aunque si bien es cierto que la producción mayoritaria de las aves se realiza bajo sistemas de producción intensiva, las producciones alternativas que apuestan por un producto de calidad bajo condiciones de bienestar animal comienzan a jugar un papel cada vez más importante en el sector (Martínez-Pérez *et al.*, 2017).

Es por ello que conocer los distintos tipos de producción, así como las diferencias existentes entre cada una de ellas y las limitaciones a las que se enfrentan sus productores suponen un punto fundamental para poder continuar abordando este trabajo.

2.1 Pollo industrial

La avicultura industrial se ha caracterizado por la transformación de la crianza tradicional de las aves. Se ha modificado la producción extensiva en la que los animales eran destinados al consumo de los propios productores, hacia los sistemas de producción intensiva actuales en los que se utilizan híbridos seleccionados para carne o la producción de huevos y la posterior venta del producto. Estos sistemas de producción se basan en las integraciones y el manejo en confinamiento (Dottavio *et al.*, 2010). Esta evolución hacia una producción intensiva ha traído consigo una serie de cambios, entre otros, la utilización de pollos industriales que hoy conocemos como *broiler*. El origen del broiler se encuentra en los métodos de producción industrial desarrollados en Estados Unidos después de 1945 (Dottavio *et al.*, 2010).

La producción industrial del pollo de carne cuenta con niveles muy elevados de tecnificación. Los pollos de engorde modernos se caracterizan por una tasa de crecimiento relativamente rápida, una mayor masa muscular y una mejor relación de conversión de alimentos cuando se les compara con las razas de pollo tradicionales. Probablemente los broiler son los animales con los mayores rendimientos si comparamos pesos de sacrificio, índice de conversión (IC) y tiempos para el sacrificio con los distintos animales destinados a la producción animal (Dottavio *et al.*, 2010). El sistema industrial permite obtener un pollo con 2,2 kg de media de peso vivo sacrificado al cabo de 42 días. Para obtener 1 kg de carne, el pollo industrial come 1,91 kg de pienso, donde el pienso de media cuesta 0,33 €/kg (Lozano-Diez, 2007). Esto supone una ingestión de 4,2 kg de pienso por pollo durante su vida productiva (Sarmiento *et al.*, 2017).

Sin embargo, a pesar de la aparente ventaja productiva que tienen los pollos industriales, la selección genética que han experimentado no ha sido completamente beneficiosa para los mismos. Como respuestas correlacionadas a los cambios logrados por la selección genética de las razas de las aves industriales se han constatado deterioros en el desempeño reproductivo de las

aves, en su integridad esquelética, en su salud cardiovascular y en su respuesta inmune (Castellini *et al.*, 2008). El estrés tanto fisiológico como inmunológico al que están sometidas estas aves de rápido crecimiento aumentan su susceptibilidad frente a las enfermedades de origen infeccioso (Dottavio *et al.*, 2010).

El precio del pollo procedente del sistema de producción industrial supone para el consumidor final 2,33 €/kg, comercializándose canales de 1,54 kg (considerando un rendimiento de la canal del 70 %) (Sindik *et al.*, 2012). De estos cálculos, se obtiene que teóricamente el productor obtendría 3,58 € por cada pollo vendido; siendo el margen entre el ingreso de venta del pollo y su coste alimentación de 2,54 €. Se establece, por tanto, que el rendimiento del precio de venta por pollo con los costes de alimentación es de 36 %. Sin embargo, pese al aparente beneficio de este tipo de producción debido a su rapidez para obtener el producto final y los márgenes económicos que parecen obtenerse, el sector industrial está siendo desplazado de forma progresiva por otros sistemas de producción alternativa (Sarmiento *et al.*, 2017).

En ocasiones la información mostrada por los medios de comunicación ha perjudicado de forma grave al sector industrial. Esto, unido a la preferencia de los consumidores por el bienestar animal y por productos con mayor calidad beneficia al sector de la avicultura alternativa donde se incluye la producción de pollos camperos y ecológicos (García, 2005). Esta presión de los mercados, primero en Europa y más recientemente en los países emergentes, hacia la búsqueda de alimentos más saludables, provocó que el modelo tradicional de aves para carne fuese repensado en algunos aspectos, centrando el interés en sistemas de producción que contemplen el bienestar animal, permitan a las aves libre acceso a parques de manera que puedan expresar los comportamientos propios de la especie y confieran mejor calidad de carne (Dottavio *et al.*, 2010).

2.2 Pollo campero

Según Antelo (2016), el sector avícola pasa por un escenario complejo, con mayor número de aves sacrificadas y sin embargo, una reducción de precios para los productores, lo que obliga a plantear economías de escala que reduzcan costes de producción. Esto pone en peligro la supervivencia de los ganaderos pequeños favoreciendo el desarrollo de grandes cooperativas y empresas. Esta situación plantea al productor la búsqueda de alternativas que le permita afrontar esta situación; es por ello que distintos productores han visto una salida en las producciones alternativas.

Las producciones alternativas tienen su origen en Bretaña en 1965, como reacción de un grupo de avicultores a la expansión de la cría intensiva, legislándose poco después este sistema productivo por el Estado francés. Su objetivo era ofrecer al mercado un producto claramente diferenciable del pollo "industrial", y con una figura de mayor calidad y autenticidad (González-Jiménez, 2013).

En España la cría de pollos en sistemas alternativos se inició entre finales de los 80 y los primeros años 90. En general, se orientó hacia la cría de estirpes de crecimiento lento con genética francesa durante cuatro meses o más, con

acceso a parques exteriores, aunque sin cumplir una especificación determinada con respecto a la densidad en los mismos, variando el tamaño utilizado de forma considerable. Las grandes empresas del sector "industrial" no se mostraron interesadas en este tipo de nueva producción, dejando al nuevo sector bajo la producción de pequeños criadores los cuales producían de forma muy dispersa geográficamente, destinando pequeñas partidas de pollos al autoconsumo o a la venta directa a particulares o a restaurantes y establecimientos especializados. En otros casos, se pretendió imitar el modelo de producción "Label Rouge" francés; siendo el caso de pequeñas empresas avícolas que buscaban un hueco en el mercado ante la dura competencia de las grandes integradoras con el producto convencional y, en particular, en las producciones acogidas a las denominaciones de calidad impulsadas por algunas Comunidades Autónomas (González-Jiménez, 2013).

Actualmente la cría del pollo campero supone una alternativa a la explotación del pollo industrial. Este sistema, al igual que el pollo ecológico, busca un producto con una calidad diferente, criado en un sistema semi-extensivo frente al sistema ultra-intensivo del pollo broiler. La producción de pollos camperos utiliza razas de crecimiento lento con instalaciones abiertas que permiten a los animales estar en condiciones de semi-libertad evocando a la tradicional cría de pollos en los corrales, favoreciendo las condiciones de bienestar de los animales (Martínez-Pérez *et al.*, 2017).

Una gran parte de la producción española de pollos camperos se encuentra amparada por denominaciones de calidad propias de las comunidades autónomas, que permite una producción más organizada, y que se encuentra sometida a certificación externa. Encontramos así: Pollo Marca Q (Cataluña DOGC 19/8/1987), pollo de Caserío (País Vasco, BOPV 20/1/1994) y Pollo con denominación Aragón Calidad Alimentaria (BOA 23/5/1994).

Finalmente, se debe destacar la evolución, más reciente, de lo que en el mercado se conoce como "pollo Certificado", que podría compararse con la denominación europea "sistema extensivo en gallinero". Esto se corresponde con las nuevas tendencias de producción en el Reino Unido y países centroeuropeos. Esta línea de producción es llevada a cabo por grandes empresas del sector intensivo y se inició en el año 2000-2001 como consecuencia de la demanda de grandes superficies (en especial Eroski, Alcampo y Carrefour) y de grandes compañías de la restauración como McDonald's. Estas empresas apuestan por un pollo criado sin parques, pero de forma menos intensiva (se trata de un crecimiento más lento de los animales que dura unos 56 días) hasta alcanzar un peso vivo similar al del broiler estándar, por lo cual se utiliza una genética distinta, con aves de inferior potencial de crecimiento y engrasamiento. Quizá el factor más determinante y significativo de este tipo de producción y que difiere del pollo campero tradicional, es la obligación de utilizar unos piensos determinados que excluyen el uso de materias primas de origen animal y sin aditivos de uso legal, comunes en la producción de broilers conociéndose a este tipo de pollo a menudo como "Natur". También se exige la certificación (externa o por el propio cliente) del cumplimiento de las condiciones de producción pactadas que varían considerablemente entre los diversos clientes y empresas productoras (González-Jiménez, 2013).

Las diferencias existentes entre la producción industrial y la producción de pollo campero incluyen el número de días necesarios para el sacrificio. En este caso son mayores que en la producción de pollo industrial, de manera que con ello se incrementa el consumo de pienso. El pollo campero se sacrifica con 2,35 kg de peso vivo, similar al industrial, pero con 85-90 días (Sarmiento *et al.*, 2017). Con respecto al sexo de los animales utilizados, casi todos los productores rechazan cebar hembras para conseguir así un peso elevado a un menor coste y también por la errónea creencia de que su calidad es inferior (González-Jiménez, 2013).

En cuanto a la genética utilizada, predominan las estirpes de tipo "Label" francesas (aunque la mayoría de los pollitos nace en España) (González-Jiménez, 2013). Las estirpes utilizadas en este tipo de avicultura necesitan comer 7,05 kg de pienso para alcanzar el peso de sacrificio. De aquí obtenemos que el IC es de 3 (Sarmiento *et al.*, 2017). En cuanto a la velocidad de crecimiento y el IC se observan peores valores con respecto a los broilers; sin embargo, las producciones alternativas cuentan con una tasa menor de mortalidad que las producciones industriales (González-Jiménez, 2013).

En el pollo campero no se exige una alimentación determinada por lo que con frecuencia se utilizan piensos de broilers, de manera que el coste del pienso sería el mismo que el utilizado en la avicultura industrial situándose en 2,32 € por pollo. Debemos tener en cuenta que también existen certificaciones en España, como las anteriormente citadas, que pueden encarecer el precio del pienso por cumplir determinadas especificidades en cuanto a las características del mismo (por ejemplo, el uso de cereales en un porcentaje determinado) (Sarmiento *et al.*, 2017); y que también hay pequeños productores que, apostando por la producción tradicional, rechazan el pienso compuesto, y alimentan a los pollos a base de materias primas de cosecha propia (González-Jiménez, 2013).

Considerando un rendimiento del 70 % de la canal, se obtiene finalmente un peso de la canal de 1,6 kg, con un precio de venta al consumidor de 7,95 €/kg; que permite alcanzar al productor 13,08 € por pollo vendido (Sarmiento *et al.*, 2017). La diferencia existente entre el ingreso de venta y el coste de alimentación son 10,4 €/pollo, lo que permite obtener un 82 % de margen de beneficio (Sindik *et al.*, 2007). Con todo ello el precio del kg de carne de pollo campero es el 341 % mayor que el del pollo industrial (Sarmiento *et al.*, 2017).

2.3 Pollo ecológico.

La producción de carne de pollo ecológico, igual que el de otras carnes ecológicas, se caracteriza por ser un proceso controlado y certificado por un organismo de control gubernamental que garantiza el cumplimiento de pautas predeterminadas para su obtención (Dottavio *et al.*, 2010). En Europa, la producción ecológica se guía por normas y objetivos tal como se formulan en las directrices de la Unión Europea (Reglamento (UE) 2018/848). Estas se pueden resumir en el uso de materias primas de origen ecológico (i), la ausencia de medicamentos como tratamiento preventivo (ii), el acceso a pastos (iii), baja densidad de población (iv), el uso de estirpes de crecimiento lento (v) y la mayor duración de la producción (vi) (Sundrum *et al.*, 2006). Los consumidores están

apostando cada día más por este tipo de producto, valorando las condiciones de cría respetuosas con el medio ambiente y el respeto del bienestar animal. Estas condiciones permiten ofrecer un producto diferenciado al consumidor (Napolitano *et al.*, 2013).

La producción de pollos ecológicos es muy similar a la de los pollos camperos; se diferencian en una menor densidad de los animales en los alojamientos, se aumentan los días de cría y el aumento espectacular de los consumos de pienso. Los piensos usados son ecológicos y por ello su precio es superior al del pienso convencional. El productor normalmente también comercializa estos animales y se encarga a menudo de su distribución. La falta de cooperativas o distribuidores que faciliten la comercialización de este tipo de producción supone una barrera importante cuando se le compara con la producción de pollo campero (Sarmiento *et al.*, 2017).

Los productores de pollo ecológico indican que para alcanzar un peso de sacrificio de 3,5 kg necesitan 140 días de vida. Para ello, siguiendo la normativa ecológica son alimentados con materias primas ecológicas o con piensos compuestos certificados, con un precio medio de 0,46 €/kg. Para obtener el peso de sacrificio necesitan ingerir de media aproximadamente 15 kg de alimento. Esto se traduce en un IC de 4,28 (Sarmiento *et al.*, 2017)

Siguiendo la metodología anterior se obtiene que el productor gasta de media por animal 6,49 €/pollo en pienso, un 279 % más que los pollos alimentados con piensos convencionales. Considerando un rendimiento de la canal del 71 % obtenemos un peso de 2,5 kg de canal por pollo a la venta, con un precio medio de 11,48 €/kg, obteniéndose de cada pollo 28,53 € en bruto. Eliminando los gastos derivados del consumo de pienso, el margen restante es de 22,04 €; que se traduce en un 75 % del precio bruto de venta (Sarmiento *et al.*, 2017).

Todos los datos expuestos anteriormente quedan resumidos en la Tabla II.I (Sarmiento *et al.*, 2017). Estos autores atribuyen la principal diferencia económica entre los dos tipos de sistemas productivos al aire libre al pienso donde la producción de piensos bajo certificación ecológica supone un incremento aproximado de 0,13 €/kg. A nivel productivo, los autores describen rendimientos bastante similares y con porcentajes de rentabilidad semejantes, aunque ligeramente mayor en el caso del pollo campero. En ambos tipos de producción se apuesta por un producto de calidad diferenciado, que garantice el bienestar animal y el correcto desarrollo de los animales y cuya producción se realice de forma sostenible con el medio ambiente (Mottet *et al.*, 2017).

Tabla II.1. Balance económico comparativo entre los tres tipos de avicultura (Fuente: Sarmiento *et al.*, 2017)

	Pollo Industrial	Pollo Campero	Pollo ecológico
Edad al Sacrificio (días)	42	85	140
Peso al sacrificio (kg)	2,20	2,35	3,50
IC	1,91	3,00	4,28
Pienso consumido (kg) por pollo	4,20	7,05	15,00
Coste del pienso (€/kg)	0,33	0,33	0,46
Coste del pienso por pollo(€/pollo)	2,31	2,32	6,49
Precio venta (€) /peso pollo (kg)	2,33	7,95	11,48
Rendimiento de la canal (%)	70,00	70,00	71,00
Peso de venta de la canal (kg)	1,54	1,65	2,48
Retorno económico venta (€)	3,59	13,08	28,53
Retorno económico venta (€) -Coste alimentación (€)	1,28	10,76	22,04
Venta- Coste alimentación (%)	36,00	82 ,00	77,00

3. PRODUCCIÓN ECOLÓGICA

La **producción ecológica** se define como un sistema de gestión y producción agroalimentaria que combina una producción respetuosa con el medio ambiente, junto con un elevado nivel de biodiversidad y de preservación de los recursos naturales. Este sistema incluye exigentes normas sobre bienestar animal para obtener una producción destinada a consumidores con preferencias por productos obtenidos a partir de sustancias y procesos naturales (MAPA, 2018). Se trata, por tanto, de un modelo de gestión agro-sistémica capaz de utilizar alternativas de manejo más perdurables, basadas en el conocimiento tradicional sobre la administración de los agro-sistemas y en la agro-ecología desde una perspectiva agronómica, ecológica y socioeconómica, la gestión de la actividad agraria y la dinámica del desarrollo rural endógeno (Sundrum *et al.*, 2006).

El interés en la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y alimentarios se remonta a las preocupaciones ambientales que comenzaron a aparecer en los años cincuenta y sesenta. Sin embargo, las ideas sobre la sostenibilidad se remontan al menos a los escritos más antiguos de China, Grecia y Roma. Actualmente el concepto de sostenibilidad se centra en la necesidad de desarrollar tecnologías y prácticas agrícolas que no tengan efectos adversos sobre el medio ambiente, que sean eficaces para mejorar la productividad de los alimentos y que estos ejerzan beneficios sobre bienes y servicios ambientales (Steinfeld *et al.*, 2006; Willer *et al.*, 2017).

La producción ecológica engloba los términos de ganadería y agricultura. La agricultura ecológica supone la principal fuente de ingresos en este sector. Sin embargo, aunque el ingreso económico y el porcentaje que ocupa la ganadería sobre la producción ecológica es menor, el ganado juega un papel importante en relación con los principios generales de la agricultura ecológica, apoyando los ciclos biológicos dentro del sistema agrícola y diversificando la producción (Flachowsky *et al.*, 2017).

A nivel europeo, los objetivos de la producción ecológica quedan recogidos en el Reglamento (UE) 2018/848 que define que un sistema de producción ecológica debe de cumplir con los siguientes puntos:

- a) asegure un sistema viable de gestión agrario que:
 - respete los sistemas y los ciclos naturales y preserve y mejore la salud del suelo, el agua, las plantas y los animales y el equilibrio entre ellos,
 - contribuya a alcanzar un alto grado de biodiversidad,
 - haga un uso responsable de la energía y de los recursos naturales como el agua, el suelo, las materias ecológicas y el aire,
 - cumpla rigurosas normas de bienestar animal y responda a las necesidades de comportamiento propias de cada especie;
- b) permita obtener productos de alta calidad.

- c) obtenga una amplia variedad de alimentos y otros productos agrícolas que respondan a la demanda de los consumidores de productos obtenidos mediante procesos que no dañen el medio ambiente, la salud humana, la salud y el bienestar de los animales ni la salud de las plantas.

Sundrum (2006) resume los pilares básicos de la producción en los siguientes puntos: (i) la gestión de la salud, (ii) el bienestar de los animales y (iii) la calidad final del producto. Dentro de los requisitos específicos del sistema, el uso de ingredientes sintéticos y alimentos genéticamente modificados están prohibidos como suplementos dietéticos. En algunos países europeos y en los EEUU., si las fuentes ecológicas no están disponibles para los agricultores, se permite el uso limitado de los aminoácidos sintéticos en niveles bajos de inclusión en la dieta (Früh, 2015).

La cría de animales ecológicos, por otro lado, se define como: un sistema de producción ganadera que promueve el uso de insumos orgánicos y biodegradables del ecosistema en términos de nutrición animal, salud animal, alojamiento y cría de animales. Evita deliberadamente el uso de insumos sintéticos como medicamentos, aditivos para piensos e insumos de mejoramiento genéticamente modificados (Chander *et al.*, 2011). Durante los últimos años se ha producido un crecimiento de las granjas con manejo ecológico como respuesta a satisfacer la creciente demanda de productos de origen animal prevista para 2050 (FAO, 2009); aunque si bien es cierto, el crecimiento no se ha producido de forma homogénea para todas las especies productoras. Junto con esto se ha buscado una forma de rentabilizar las explotaciones, proteger el medio y la seguridad del consumidor, y el bienestar animal.

Finalmente, la falta de confianza en la seguridad de los alimentos producidos de forma intensiva, por parte de los europeos tras los escándalos alimentarios de la encefalopatía espongiforme bovina en el Reino Unido, la presencia de dioxinas en los pollos en Bélgica en 1998, el uso de lodos de depuración de mataderos en alimentación animal en Francia, asociadas al incremento en las resistencias antibióticas humanas unidas a la nutrición animal; han propiciado el desarrollo de este tipo de producción alternativa en los últimos años (Von Borell *et al.*, 2004).

3.1 Situación de la producción ecológica en el mundo

Actualmente en el mundo existen 179 países con sistemas de certificación ecológica. Un total de 69,8 millones de hectáreas se gestionaron ecológicamente a final de 2017, lo que representa un crecimiento del 20 % u 11,7 millones de hectáreas más con respecto al 2016; lo que supone el mayor crecimiento registrado. Australia tiene la mayor área agrícola ecológica (35,6 millones de hectáreas), seguido de Argentina (3,4 millones de hectáreas) y China (3 millones de hectáreas). Debido al gran aumento de área en Australia, la mitad de las tierras agrícolas ecológicas globales se encuentran ahora en Oceanía (35,9 millones de hectáreas). Europa tiene la segunda área más grande (21 %; 14,6 millones de hectáreas), seguida de América Latina (11,5 %; 8 millones de hectáreas) incrementándose la superficie disponible para esta actividad en todos los continentes (FIBL, 2018).

El número de productores ecológicos a nivel mundial, se ha incrementado en un 4,7 % con respecto al 2016, siendo un total de 2,9 millones de productores de este sector. La mayor cantidad de ellos está en Asia (35 %) y en África (30 %); de forma que la India (835.000) se sitúa en el primer puesto, seguido de Uganda (210.352) y México (210.000) (FIBL, 2018).

Más del 89 % de los productores proceden de países en desarrollo con mercados emergentes. Dos tercios de la superficie certificada está destinada a pasto de animales (33,1 millones de hectáreas), el 20 % es superficie arable de ella la mayor superficie se empleó para cultivar cereales (3,9 millones de hectáreas), seguido de forraje verde (2,5 millones de hectáreas) (Willer *et al.* 2017).

El mercado global de alimentos ecológicos alcanzó los 90.000 billones de euros en 2017. Estados Unidos es el mercado líder con 34,3 billones de euros, seguido por Europa (17,9 billones de euros), y China (7,6 billones de euros). En 2017, la mayor parte de los principales mercados mostraron tasas de crecimiento de dos dígitos. El mayor gasto per cápita se registró en Suiza (288 euros) seguido de Dinamarca y de Suecia. Es reseñable que el mercado de productos ecológicos supone en Dinamarca el 13,3 % del total de los productos disponibles en el mercado (FIBL, 2018).

A pesar de que en las normas de agricultura ecológica parece existir una armonización a nivel mundial, no ocurre lo mismo con la producción ganadera. Existen en el mundo diversos estándares de producción que se traduce en que cerca de 90 países disponen de normativa ecológica (MAPA, 2018). Los requisitos sobre piensos, antibióticos y otras variables de la producción ecológica reflejadas en la Unión Europea difieren de las de los Estados Unidos, las cuales se establecen en el Programa Ecológico Nacional. Frente a esto se están realizando esfuerzos para lograr la armonización en estas normas y las perspectivas son prometedoras. Por otra parte, la producción ganadera ecológica es más exigente que la producción agrícola ya que, para criar ganado ecológico, sus cultivos forrajeros también deben cumplir con estrictos estándares ecológicos para que posteriormente puedan ser consumidos por estos animales. La producción ganadera ecológica sigue evolucionando y todavía tiene que superar varias barreras entre los productores, especialmente los agricultores en ambientes tropicales (Chander, 2011).

3.2 Situación de la producción ecológica en Europa

La producción ecológica es un sector de la producción de alimentos que ha crecido de forma imparable en Europa desde que se publicó el primer reglamento en 1991 y resulta notable el aumento de la demanda de los consumidores en los últimos años. Es probable que las recientes reformas de la política agrícola común, con su énfasis en la orientación al mercado y al suministro de productos de calidad para cubrir la demanda de los consumidores, estimulen aún más el mercado de productos ecológicos (Reglamento (UE) 2018/848). Durante 2015, se registró un aumento del 13 % alcanzando los 30.000 millones de euros de ventas; registrándose estas tasas de crecimiento en casi todos los mercados europeos. Con respecto a la agricultura ecológica, las áreas disponibles se incrementaron en un 8 %.

El mercado ecológico en Europa sigue creciendo. Muchos de los principales mercados tuvieron tasas de crecimiento de dos dígitos. Las ventas minoristas en Europa se valoraron en 37,3 mil millones de euros (34,3 mil millones de euros en la Unión Europea). El mayor mercado fue Alemania (10 mil millones de euros). La Unión Europea representa el segundo mercado de productos ecológicos en el mundo después de los Estados Unidos (40 mil millones de euros) (FiBL, 2018).

La tierra ecológica aumentó en un millón de hectáreas en Europa y en 0,8 millones de hectáreas en la Unión Europea, lo que representa un aumento del 7,6 por ciento y el 6,4 por ciento, respectivamente. El crecimiento fue mayor que en los primeros años de la década actual. Rusia describió 300.000 hectáreas más que en 2016, mientras que Francia incrementó 200.000 hectáreas con respecto al pasado año (FiBL, 2018).

En Europa, 14,6 millones de hectáreas fueron ecológicas en 2017 (Unión Europea: 12 millones de hectáreas). Con 2,1 millones de hectáreas, España continúa siendo el país con mayor área ecológica en Europa, seguido de Italia (1,9 millones de hectáreas), y Francia (1,7 millones de hectáreas). En cada uno de estos tres países, la superficie de tierras de cultivo ecológicas aumentó en al menos 100.000 hectáreas (FiBL, 2018).

Nueve países europeos informan que al menos el 10 % de sus tierras de cultivo son ecológicas y las mayores en todo el mundo están en Liechtenstein (30,2 %), Austria (21,3 %) y Suecia (16,9 %) (FiBL, 2018). Sin embargo, la producción ganadera ecológica se desarrolla de una forma más lenta que la agricultura ecológica y no de forma homogénea para todas las especies productoras (Willer *et al.*, 2017). Las granjas procedentes de sistemas convencionales con una unión mayor a la tierra, como los sistemas extensivos de producción con rumiantes, han tenido más facilidades para certificarse que los sistemas productivos intensivos.

La legislación existente para el control de la producción Ecológica, Biológica u Orgánica se fundamenta en legislación europea, partiendo del Reglamento (CEE) 2092/91 del Consejo, de 24 de junio de 1991, sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios. Este reglamento ha sido reformado el 12 de junio del 2007 por un nuevo Reglamento (CE) N.º 834/2007 del consejo de 28 de junio de 2007 sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos.

Posteriormente se publicó el Reglamento (CE) N.º 889/2008 por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) N.º 834/2007 respecto a la producción y etiquetado, modificado posteriormente por el Reglamento (CE) N.º 1254/2008. El 12 de diciembre de 2008 se publicó el Reglamento (CE) N.º 1235/2008 por el que se establecen las disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) N.º 834/2007 en lo que se refiere a las importaciones de productos ecológicos procedentes de terceros países, que queda derogado por el Reglamento (UE) 2018/848 que entrará en vigor el próximo 1 de enero de 2021.

3.3 Producción ecológica en España

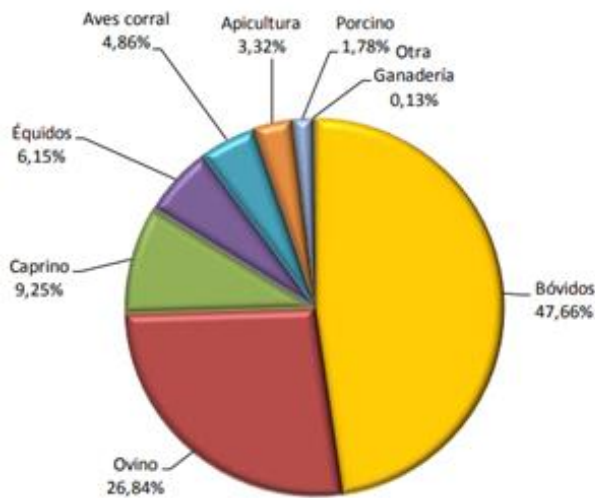
La producción ecológica española es de forma mayoritaria agrícola (tanto en ingresos como en producción) y ha experimentado un importante auge en los últimos años; ocupando la ganadería un 17 % del total, aunque con perspectivas de crecimiento en los próximos años (MAPA, 2018).

Durante los últimos años, la producción ecológica ha experimentado un importante crecimiento desde que empezó en los años 80. Actualmente se sitúa como el primer estado miembro de la Unión Europea en cuanto a superficie disponible dedicada a este fin y también en los primeros puestos a nivel mundial. Este sector tiene un amplio margen de desarrollo y crecimiento, pero también tiene necesidades de mejora en el área de distribución y consumo. Se debe tener en cuenta que, no sólo se ha producido un incremento en el volumen de producción, sino también en cuanto al valor en origen, alcanzándose en el año 2015 1.619 millones de euros, lo que supone un incremento del 34,7 % con respecto al valor del anterior año (MAPA, 2018).

Los productores españoles comenzaron a interesarse por la ganadería ecológica a partir del año 1995, año en el cual los productores comenzaron a contar con el apoyo legal del Reglamento (CEE) 2092/91 y con las ayudas agroalimentarias previstas en el Reglamento (CEE) 2078/92. Desde este momento la ganadería ecológica no ha dejado de crecer como sector. Entre los principios generales que engloba la producción ganadera ecológica se incluye el diseño de las instalaciones, en las que los animales deben de tener acceso al exterior, y menor número de animales por unidad de superficie, una alimentación a partir de piensos o productos de origen ecológico y la ausencia de medicación como tratamiento preventivo o promotor del crecimiento (Von Borell *et al.*, 2004).

La producción agrícola ecológica no debe de ser considerada como un sistema de producción aislado del sector ganadero ecológico. Así lo establece el Reglamento (UE) 2018/848, que considera la producción ganadera fundamental en la organización de la producción agrícola de las explotaciones ecológicas, ya que proporciona la materia y los nutrientes ecológicos necesarios para la tierra en cultivo y contribuye así a la mejora del suelo y al desarrollo de una agricultura sostenible. A nivel de la comunidad autónoma, la normativa la establece la propia comunidad. En el caso de Castilla y León es la Orden AYG/452/2013, de 29 de mayo, por la que se aprueba el reglamento regulador de la producción agraria ecológica y su indicación sobre los productos agrarios y alimenticios y del consejo de agricultura ecológica de la Comunidad de Castilla y León.

España registró en el año 2017 un total de 197.851 animales en sistemas de producción ecológico. España cuenta con un total de 7.792 explotaciones ganaderas ecológicas, localizadas de forma mayoritaria en Andalucía que supone un 60,75 % del total registrado.



Mientras que el segundo lugar distanciado de una forma notable del primer puesto, lo ocuparía Cataluña contando con 11,93 %, seguido de Asturias y Castilla La Mancha, aunque una distancia notable de los anteriores (3,87 y 3,84 % respectivamente). Con respecto al tipo de producción, existe una clara dominancia del sector vacuno que ocupa el 46.52% de la producción total, seguido del ovino con 28,72 % y caprino con 10,29 % (Figura II.III. MAPA, 2018).

Figura II.III. Número de explotaciones ganaderas (%) presentes en España distribuidas por orientación productiva.
Fuente: MAPA, 2018.

En ganadería, Castilla y León, supone el 1.08 % del total de la producción ganadera ecológica nacional. En 2017 se registraron 17.785 cabezas de ganado que se gestionaron en 56 explotaciones ganaderas y se contabilizaron 181 operadores industriales (MAPA, 2018)

4. AVICULTURA ECOLÓGICA

España cuenta con 101 explotaciones ecológicas dedicadas a la producción de carne de ave, de las cuales 18 corresponden a la producción de carne de otras aves (principalmente patos y pavos) mientras que existen 278 explotaciones para la producción de huevos en este sistema (MAPA, 2018). La producción de aves de corral ecológicas supone un 4,86 % del total de la producción ecológica nacional, que se corresponde con 362.900 pollos destinados a la producción de carne.

El número de toneladas de carne pollo producida en sistemas ecológicos ha incrementado de forma notable en los últimos años, aumentando tanto en el censo como en el número de explotaciones presentes (MAPA, 2018). La distribución de las explotaciones avícolas ecológicas en la península las sitúa de forma mayoritaria en Galicia, Cataluña y Andalucía (MAPA, 2018). En Castilla y León, la producción ecológica es también una actividad creciente, aunque el número de ganaderías ecológicas todavía es limitado. Dicha comunidad, cuenta con cinco explotaciones avícolas para la producción de carne de origen ecológico

La producción avícola ecológica queda regulada por una serie de directrices que establecen entre otros puntos las condiciones que deben reunir las instalaciones, la alimentación que deben de recibir y las razas de los animales que pueden utilizarse bajo este sistema de producción. La avicultura ecológica se muestra como un sistema de producción semiextensivo en el que se utilizan razas de crecimiento lento y cuyos recursos alimenticios debido a la legislación vigente son limitados (Van Krimpen *et al.*, 2013).

4.1 Instalaciones

La ganadería ecológica debe dar respuesta a las necesidades específicas de comportamiento de los animales. A este respecto, las condiciones de alojamiento deben proporcionar un alto nivel de bienestar animal, el cual es una prioridad de la ganadería ecológica y, por tanto, pueden rebasar las normas de bienestar comunitarias aplicables a la ganadería en general.

En la sección 2 del Reglamento (CE) N.º 889/2008 el artículo 10 se refiere de forma general a las instalaciones para la cría de los animales y en él se establece que la densidad de animales en los edificios deberá ser compatible con la comodidad y el bienestar de los animales así como con las necesidades específicas de la especie, factores que dependerán, concretamente, de la especie, raza y edad de los animales. Se deberán tener en cuenta asimismo las necesidades inherentes al comportamiento de los animales que dependen principalmente del tamaño del grupo y del sexo de dichos animales.

El reglamento considera, además, que la densidad debe garantizar el bienestar de los animales, dándoles espacio suficiente para mantenerse erguidos de forma natural, tumbarse fácilmente, girar, asearse, estar en cualquier posición normal y hacer todos los movimientos naturales como estirarse y agitar las alas.

Todo ello queda determinado en el anexo III del reglamento donde se establece el número máximo de animales por metro cuadrado. Por un lado, se diferencia entre alojamientos inmóviles y alojamientos móviles, y a su vez entre zona cubierta y zona al aire libre. De esta forma se establece que, en el caso de las zonas cubiertas para aves de corral en alojamientos fijos, será un máximo de 10 animales con un peso en vivo máximo de 21 kg/m². En cuanto a la zona al aire libre se establecen 4 pollos por m² de espacio disponible en rotación/cabeza.

El artículo 12 del presente reglamento hace referencia a las condiciones de alojamiento y métodos de cría específicos que deben cumplirse en las aves de corral. Se establece así los siguientes puntos:

1. Las aves de corral no podrán mantenerse en jaulas.
2. Cuando las condiciones meteorológicas e higiénicas lo permitan, las aves acuáticas deberán tener acceso a una corriente de agua, un charco, un lago o un estanque a fin de respetar las necesidades específicas de las especies y los requisitos de bienestar de los animales.
3. Los edificios para todas las aves de corral deberán cumplir las siguientes condiciones:
 - a) un tercio al menos del suelo será una construcción sólida, es decir, no en forma de listones o rejilla, cubierta de un lecho de paja, virutas, arena o turba;
 - b) en los gallineros para gallinas ponedoras, una parte suficientemente grande del suelo disponible para las gallinas deberá poderse utilizar para la recogida de las deyecciones de las mismas;
 - c) dispondrán de perchas cuyo número y dimensiones respondan a la importancia del grupo y al tamaño de las aves, según lo dispuesto en el anexo III (Figura II.IV).
 - d) los gallineros estarán provistos de trampillas de entrada y salida de un tamaño adecuado para las aves y de una longitud combinada de al menos cuatro metros por cada 100 metros cuadrados de la superficie del local que esté a disposición de las aves;
 - e) en cada gallinero no habrá más de 4.800 pollos,
 - f) la superficie total de los gallineros utilizable para la producción de carne de cada unidad de producción no deberá exceder de 1.600 metros cuadrados;
 - g) los gallineros deberán construirse de forma que las aves tengan fácil acceso a una zona al aire libre.
4. La luz natural podrá complementarse con medios artificiales para obtener un máximo de 16 horas de luz diariamente, con un período de descanso nocturno continuo sin luz artificial de, por lo menos, ocho horas.

	Zona cubierta (superficie disponible por animal)			Zona al aire libre (m ² de espacio disponible en rotación/cabeza)
	Nº animales m ²	cm de percha/animal	nido	
Gallinas ponedoras	6	18	8 gallinas ponedoras por nido o, si se trata de un nido común, 120 cm ² por ave	4, siempre que no se supere el límite de 170 kg N/ha/año
Aves de corral de engorde (en alojamiento fijo)	10, con un máximo de 21 kg peso en vivo/m ²	20 (sólo para pintadas)		4, pollos de carne y pintadas 4,5, patos 10, pavos 15, ocas No deberá superarse el límite de 170 kg N/ha/año para ninguna de las especies arriba mencionadas
Polluelos de engorde en alojamiento móvil	16 (*) alojamientos móviles con máximo de 30 kg peso en vivo/m ²			2,5, siempre que no se supere el límite de 170 kg N/ha/año

(*) Exclusivamente en caso de alojamientos móviles que no superen 150 m² de superficie disponible y no permanezcan cubiertos por la noche.

Figura II.IV. Anexo III. Fuente: Reglamento (CE) N.º 1804/1999 del Consejo

El acceso al aire libre de los animales queda regulado por el artículo 14 del reglamento donde se establece que las aves deben tener acceso a un espacio al aire libre durante al menos un tercio de su vida. Los espacios al aire libre para las aves de corral deberán estar cubiertos de vegetación en su mayor parte y dotadas de instalaciones de protección, así como permitir a los animales acceder fácilmente a un número adecuado de abrevaderos y comederos.

4.2 Alimentación

El artículo 7 del Reglamento (CE) N.º 834/2007, establece los principios alimentarios bajo los que se regula la alimentación en la ganadería ecológica. Este aspecto constituye una de las principales diferencias con la producción de pollos camperos y juega un papel fundamental sobre el coste del producto final (Sarmiento *et al.*, 2017).

Queda prohibido el uso de organismos genéticamente modificados (OGM) y la producción de piensos ecológicos a partir de primas cuyo origen no sea ecológico. También se restringe al mínimo los aditivos utilizados en la alimentación, así como de coadyuvantes tecnológicos, permitiéndolos únicamente en el caso de necesidad tecnológica o zootécnica esencial por motivos concretos de nutrición, siempre y cuando se encuentren recogidos en el Anexo VI y se cumplan las restricciones que aparecen en el mismo. El artículo 20 del Reglamento (CE) N.º 889/2008 establece que en el caso de que las aves tuvieran que ser mantenidas en el interior por restricciones u obligaciones

impuestas por la normativa comunitaria, deben tener acceso en todo momento a cantidades suficientes de forrajes bastos y de otros materiales adecuados para satisfacer sus necesidades etológicas.

4.3 Razas

En la elección de las razas o las estirpes para la ganadería ecológica se tendrá en cuenta la capacidad de los animales para adaptarse a las condiciones del entorno y su vitalidad y resistencia a las enfermedades. Además, esta selección deberá hacerse teniendo en cuenta la necesidad de evitar enfermedades o problemas sanitarios específicos asociados a determinadas razas o estirpes utilizadas en la ganadería intensiva (por ejemplo, el síndrome de estrés porcino, el síndrome PSE (carne pálida, blanda y exudativa), la muerte súbita, los abortos espontáneos y los partos distócicos que requieran cesárea). Deberá darse preferencia a las razas y estirpes autóctonas (Reglamento (CE) N.º 889/2008).

Con respecto a la avicultura, se establece que los métodos de cría ecológicos deben evitar que las aves de corral crezcan demasiado deprisa. Por tanto, deben establecerse disposiciones específicas para evitar los métodos de cría intensiva. Concretamente, las aves de corral deben criarse hasta que alcancen una edad mínima o deben proceder de estirpes de crecimiento lento de forma que, en cualquier caso, no haya incentivo para utilizar métodos de cría intensiva.

Cuando no se críen estirpes de crecimiento lento las edades en el momento del sacrificio serán, como mínimo, 81 días para los pollos. La autoridad competente definirá los criterios de las estirpes de crecimiento lento o elaborará una lista de las mismas y facilitará esta información a los operadores, otros Estados miembros y la Comisión. Así mismo, en el artículo 9 del mismo reglamento se establece que únicamente se podrán introducir animales no ecológicos de conformidad con lo dispuesto en el artículo 14, apartado 1, letra a), inciso ii, del Reglamento (CE) N.º 834/2007, con fines de cría únicamente cuando no se disponga de un número suficiente de animales ecológicos. Para ello, el productor debe solicitar a la autoridad competente la posibilidad de inclusión de pollos procedentes de granjas de cría no ecológicas. Este proceso debe repetirse siempre que el productor realice una compra para introducir nuevos lotes de animales en la explotación

Todas estas diferencias entre la producción industrial y la ecológica (la alimentación de los animales con materias primas ecológicas (Zollistch *et al.*, 2004; Van Krimpen *et al.*, 2013), la imposibilidad de controlar las condiciones ambientales (Martínez-Pérez *et al.*, 2017) y la falta de estandarización de las razas) genera la aparición de dificultades durante el proceso productivo (Sarmiento *et al.*, 2017), lo que repercute no sólo sobre los índices productivos, sino también sobre la calidad de la canal.

5. FACTORES QUE CONDICIONAN LA AVICULTURA ECOLÓGICA

Como ya se ha apuntado, los sistemas de producción ecológica se encuentran condicionados por una serie de factores, los cuales difieren enormemente de la producción industrial. Entre ellos la estirpe o raza de los animales, la alimentación y las condiciones de crianza que pueden modificar parámetros productivos y de calidad de la carne de estos animales (Figura II.V). Estos factores podrían explicar las diferencias halladas entre los distintos resultados en la literatura consultada (Martínez-Pérez *et al.*, 2017).



Figura II.V. Principales factores que condicionan la calidad y la producción de pollos criados en sistemas ecológicos

5.1 Alimentación en avicultura ecológica

Dentro de la alimentación, la fuente proteica es un elemento clave además de diferenciador con respecto a la producción convencional. Las materias primas de aporte proteico incluidas en la alimentación animal convencional se basan en el uso de subproductos derivados de la soja y un pequeño aporte de aminoácidos esenciales sintéticos. Las mejores fuentes de aminoácidos basadas en cultivos son la soja, o los subproductos de producción industrial como la proteína de la patata o el gluten de maíz; sin embargo, son muy difíciles de cultivar tanto en calidad como en cantidad suficientes en distintas partes de la UE (Früh *et al.*, 2015).

La producción total de proteínas en la UE (como soja o las leguminosas) ocupa actualmente sólo el 3 % de la tierra cultivable, siendo la procedencia de la soja en Europa casi en su totalidad de América del Sur (Brasil de forma mayoritaria, y Argentina en menor medida). Esta situación, ha sido considerada

como una preocupación por el Parlamento Europeo debido a la dependencia excesiva de este continente. La dependencia externa para el abastecimiento de la soja trae asociado precios cada vez más altos, desabastecimiento por la demanda de países emergentes y una mayor vulnerabilidad a la especulación de los mercados (Leiber *et al.*, 2017). Así mismo, se prevé que, si el precio de la soja se sigue incrementando, el coste de la carne podría aumentar en un 35 % en 2050 (Cullere *et al.*, 2016). A estos problemas se suman una serie de preocupaciones éticas las cuales han ido en aumento. Entre estas, se encuentra la pérdida de los ecosistemas naturales, el aumento de la contaminación del agua y el suelo, y la expulsión de los pequeños agricultores como consecuencia de la compra de las tierras por partes de los grandes productores (Van Krimpen *et al.*, 2013; Flachowsky 2017). Es por ello por lo que la búsqueda de fuentes alternativas de proteínas que permitan desligarse del consumo de soja debe considerarse hoy en día una opción prioritaria en la alimentación animal (Flachowsky, 2017).

La producción de cultivos de proteaginosas alternativas a la soja en la UE amplía las posibilidades de rotación de cultivos; esto permitiría una reducción en el riesgo de enfermedades para las plantaciones y permitiría estabilizar una nueva fuente de ingresos para los agricultores de la UE. Además, el desarrollo de estas estrategias posibilita la obtención de cultivos socialmente deseables (por ejemplo, producción de soja no modificada genéticamente (OGM), frente a la de producción habitual) (Sundrum *et al.*, 2006).

A parte de las limitaciones expuestas en la producción convencional, la producción ecológica se encuentra aún más limitada en la búsqueda de fuentes proteicas alternativas (Leiber *et al.*, 2017). La alimentación que deben recibir los animales ecológicos queda regulada bajo el Reglamento Europeo (UE) 2018/848 que prohíbe el uso de aportes proteicos de origen no natural, es decir, la inclusión de materias primas OGM. De esta forma, la soja que actualmente se importa en nuestro país para la alimentación del ganado convencional no es apta para la producción ecológica. El autoabastecimiento de proteína para los sistemas de producción ecológicos en Europa es inferior al 60 %. Esto da como resultado una importación neta anual de 130.000 toneladas de proteína autorizada en la producción de animales ecológicos de Austria, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Lituania, los Países Bajos, Suecia y Suiza (Früh *et al.*, 2015). Del total de las necesidades proteicas para la producción europea de ganado ecológico, la producción avícola requiere aproximadamente un tercio de la proteína total (Früh *et al.*, 2015). Sundrum *et al.* (2006) indicaron en un estudio que, aunque podría haber suficiente cereal de origen ecológico para poder alimentar este tipo de ganado, la proteína necesaria frente a la que se dispone actualmente es escasa.

Este problema afecta fundamentalmente a productores de animales monogástricos donde su producción, estado sanitario y bienestar, depende de forma directa del adecuado suministro de proteínas en la dieta (Van Krimpen *et al.*, 2013). Mientras que los rumiantes pueden aprovechar forrajes de origen ecológico y sintetizar aminoácidos en el rumen (Leiber *et al.*, 2017) los animales monogástricos necesitan un aporte externo de ciertas cantidades de aminoácidos esenciales en sus dietas para una buena producción. Por lo tanto, la búsqueda de alternativas que permitan la reducción de la dependencia de las

importaciones de soja es necesaria en regiones donde se producen carne de cerdo, carne de pollo y huevos en sistemas de producción ecológica donde la necesidad de fuentes alternativas de proteínas es alta (Laudadio *et al.*, 2010; Van Krimpen *et al.*, 2013).

La importancia de la proteína no radica sólo en la cantidad necesaria sino también en la composición en cuanto a la cadena de aminoácidos se refiere (Leiber *et al.*, 2017). Las cadenas de aminoácidos que forman las proteínas son responsables de la síntesis de queratina, la cual es imprescindible para la formación rápida del plumaje; requiriéndose en este caso un aporte de metionina en la dieta particularmente alto (Willke *et al.*, 2010). Considerando que el aporte de aminoácidos sintéticos no se encuentra permitido en la alimentación ecológica, el perfil de aminoácidos y las necesidades proteicas debe de ser satisfechos con los aportes de la dieta (Van Krimpen *et al.*, 2013). Es por ello que el desafío para la nutrición avícola ecológica es establecer fuentes alternativas de proteínas con perfiles de aminoácidos adecuados que contengan concentraciones suficientes de lisina y metionina para obtener una alta eficiencia de conversión de proteínas (Leiber *et al.*, 2017). Estas fuentes deben de ser accesibles para el productor y no suponer un coste extra (Zollitsch *et al.*, 2004; Van Krimpen *et al.*, 2013).

Una solución para desarrollar sistemas sostenibles y productivos de avicultura y acuicultura doméstica incluye el uso de fuentes de proteínas locales, fácilmente disponibles y baratas, preferiblemente no usadas para otros propósitos (Kenis *et al.*, 2014). En este marco, se plantean tres fuentes alternativas al uso de la soja en la alimentación animal cuya importancia está siendo cada vez mayor.

5.1.1 Leguminosas

Una de las alternativas que se plantean con mayor esperanza en la nutrición ecológica de los pollos es el uso de **leguminosas grano**. Una fuente de proteína alternativa podría ser el haba (*Vicia faba*), el altramuz dulce (*Lupinus angustifolius*) y el guisante (*Pisum sativum*) (Leiber *et al.*, 2017)

Los **guisantes** se presentan como una prometedora opción dentro de las alternativas proteicas al uso de la soja debido a su alto valor nutritivo (Laudadio *et al.*, 2010; Leiber *et al.*, 2017). Son producidos en el área mediterránea, y junto con otras legumbres domésticas ofrecen la posibilidad de mejorar la autosuficiencia en alimentos ricos en proteínas. Así mismo, estos productos tienen un papel importante en la rotación de cultivos, particularmente en la agricultura ecológica debido a su capacidad para fijar nitrógeno (Koivunen *et al.*, 2016). El guisante es posiblemente la leguminosa más investigada y mejorada después de la soja. Aunque actualmente su uso se encuentra limitado en las dietas avícolas, este ingrediente se presenta como una prometedora materia prima en la alimentación animal (Laudadio *et al.*, 2010).

En comparación con la mayoría de los cereales, las semillas de guisantes son considerablemente altas en almidón. Sin embargo, el almidón del guisante es menos susceptible a la hidrólisis enzimática que el almidón en cualquiera de los granos de cereal (Koivunen *et al.*, 2016). Con respecto a las cadenas de

aminoácidos, los guisantes contienen niveles relativamente altos de lisina, pero los niveles de metionina y cisteína son menores, sin embargo, este déficit se complementa con las proteínas que se encuentran en el cereal. Su incorporación puede realizarse en la dieta hasta un 25-30 % (Ravindran *et al.*, 2010).

A pesar de esto, la inclusión de leguminosas grano en la dieta de los monogástricos puede verse limitada por la presencia de los factores antinutricionales en estas materias primas requiriéndose tratamientos previos para su eliminación (Leiber *et al.*, 2010). Los procedimientos que eliminan o inactivan los factores antinutricionales de los guisantes y que alteran la estructura del almidón para favorecer la accesibilidad de los gránulos de almidón a la hidrólisis enzimática ofrecen la promesa de mejorar el valor nutritivo de los guisantes para las aves de corral (Laudadio *et al.*, 2010). Frente a esto, autores han demostrado (Laudadio *et al.*, 2010; Koivunen *et al.*, 2016) que incluso altas proporciones de guisantes de hasta casi 500 g/kg de materia seca (MS) podrían ser incluidos en la dieta de pollos de engorde sin efectos adversos si se agregan aminoácidos sintéticos. Sin embargo, los aminoácidos sintéticos no están permitidos en la agricultura ecológica (Willke *et al.*, 2010) y son costosos para las pequeñas granjas.

Distintos autores (Dotas *et al.*, 2014; Leiber *et al.*, 2017; Koivunen *et al.*, 2016) han indicado que la sustitución de la soja por el uso de guisantes en cantidades entre 100-480 g/kg como fuente proteica en dietas de pollos no modifica el consumo, la ganancia media diaria (GMD), ni el peso final de los animales. Algunos estudios (Masaero *et al.*, 2005; Laudadio *et al.*, 2010) han mostrado que el uso de fuentes proteicas alternativas al uso de la soja, no modifican la proporción de pechugas y alas con respecto al total de la canal. Frente a esto Leiber *et al.* (2017) afirma que ciertos cambios sobre la composición proteica pueden modificar la proporción de las diferentes partes de la canal. Estos autores describieron un menor peso de la pechuga en aquellos animales que recibieron una dieta con alfalfa-guisantes con respecto al control.

Tampoco se han hallado diferencias sobre la calidad organoléptica cuando se incluyen guisantes en la dieta de los pollos, en una concentración de hasta 200 g/kg, sin embargo, hasta la fecha no se han encontrado artículos que reflejen el efecto de la inclusión del guisante sobre la terneza y jugosidad de la carne (Koivunen *et al.*, 2016). Frente a esto, también se observaron efectos perjudiciales en la inclusión de guisantes a este nivel (200 g/kg) en dietas para pollos de engorde (McNeill *et al.*, 2004), que pueden atribuirse principalmente a las diferencias entre las distintas variedades de los guisantes, debido a diferencias en la digestibilidad en las formulaciones de la ración (Koivunen *et al.*, 2016).

Con respecto al uso de las **habas**, la presencia de los factores antinutricionales anteriormente mencionados puede retrasar el crecimiento de los pollos (Baldinger *et al.*, 2016). Los antinutrientes más importantes con los que cuentan estas proteaginosas son lectinas, polisacáridos no amiláceos, inhibidores de la amilasa, inhibidores de la proteasa (tripsina o quimotripsina) y taninos. En cuanto a los resultados obtenidos del reemplazo dietético de la harina de soja por las habas no solo dependen de estos factores antinutricionales, sino también de la especie y la edad de las aves que lo consumen e incluso de los

genotipos de las semillas de las habas utilizadas (Baldinger *et al.*, 2016). En contraste, otros autores han mostrado que no existen diferencias significativas en la tasa de crecimiento, ingesta de alimentos y tasa de conversión de alimento cuando se sustituye el uso de la soja por habas en pollos de engorde, independientemente del genotipo de habas utilizada (Métayer *et al.*, 2003; Díaz *et al.*, 2006; Shams *et al.*, 2010; Laudadio *et al.*, 2011).

Aunque, aparentemente el uso de haba en la alimentación de pollos de carne parece no alterar el crecimiento, hay autores que han coincidido en que el uso de esta leguminosa en aves de puesta puede reducir la producción de huevos y el peso de los mismos (Olaboro *et al.*, 1981; Pérez-Maldonado *et al.*, 1999). Otro estudio también ha documentado una correlación negativa cuando los pollos de engorde machos fueron alimentados con dietas que contenían 500 g de habas con 9.9 g/kg de taninos (Vilariño *et al.*, 2009) Parece que la diferencia en esta observación puede haber sido causada por la cantidad de haba incluida en la dieta, ya que por su sabor amargo pueden limitar la ingesta de alimento lo que, a su vez, está relacionado con la concentración de taninos. Los taninos presentes en las habas no solo reducen la ingesta de alimento en las aves, sino también la digestibilidad de las proteínas mediante la formación de un complejo proteína-tanino (Baldinger *et al.*, 2016).

Los **altramuces** tienen un elevado contenido en proteína bruta (PB) (44,00 %) en grasa (10,69 %) y en fibra bruta (16,10 %). Debido al alto contenido en grasa, tienen un elevado valor energético (3326,9 MEAn/kg MS) (Merlita *et al.*, 2015). Los resultados obtenidos en estudios anteriores (Rubio *et al.*, 2003; Erbas *et al.*, 2005; Sujak *et al.*, 2006; Vecerek *et al.*, 2008; Uzun *et al.*, 2013; Merlita *et al.*, 2015) confirman que las semillas de altramuces son importantes fuente de proteína, y de ácidos grasos insaturados, pudiendo mejorar la composición de ácidos grasos de la carne. Merlita *et al.* (2015) muestran que cuando se utilizan dietas equilibradas en términos de energía, proteínas y aminoácidos para pollos de engorde sustituyendo la soja por altramuces, no se producen efectos negativos sobre el aumento de peso, el consumo alimentos, la calidad de la canal y la carne. Estos autores únicamente describieron un aumento de la cantidad de cenizas cuando se sustituía la soja por altramuces libres de alcaloides en la dieta de pollos de engorde, mientras que no observaron modificaciones sobre la composición proteica de la pechuga. En contraste, Suchy *et al.* (2010) encontraron una caída de las cenizas cuando se reemplazaba la soja con altramuces. Frente a esto, Meluzzi *et al.* (2009) no hallaron variaciones sobre el contenido en cenizas cuando se incluyeron habas como fuente proteica. El reemplazo parcial de la soja con altramuces tampoco mostró diferencias significativas en la cantidad de proteína ni al contenido en grasa (Suchy *et al.*, 2010; Merlita *et al.*, 2015).

Así mismo, Merlita *et al.* (2015) describieron que la introducción de altramuces en los pollos de engorde redujo el precio de la ración hasta un 18 %, mientras que los costos de alimentación por cada aumento de 1 kg ese peso se redujo al 17 %. Si la dieta ha sido formulada de forma equilibrada en cuanto al nivel aminoácidos (lisina, metionina, triptófano), la introducción de semillas de altramuces libres de alcaloides en pollos de engorde (pollos y pavos) en la cantidad de máx. 250 g/kg de la ración no afecta su rendimiento productivo (Roth-Maier *et al.*, 2002). A pesar de que estos autores realizaron el trabajo en

pollos de engorde industriales podría plantearse su estudio en pollos ecológicos siempre y cuando no sea necesaria añadir aditivos sintéticos para equilibrar los niveles de aminoácidos.

5.1.2 Algas

Las algas marinas, procedentes de determinadas especies, presentan una fuente potencial de proteínas vegetales de gran valor para la alimentación humana o animal. Las algas son valiosas fuentes de alimentos y oligoelementos que son consideradas como el suplemento alimenticio más importante del siglo XXI como fuente de proteínas, lípidos, polisacáridos, minerales, vitaminas y enzimas (Mahmoud *et al.*, 2017). De hecho, cada año se recogen en el mundo 11,3 millones de toneladas de algas frescas con un valor de 5.700 millones de dólares (Kotrbaček *et al.*, 2016).

Las algas unicelulares se caracterizan por una alta tasa de crecimiento, alta eficiencia de la utilización de la luz solar para la fotosíntesis de algas y una valiosa composición química, con más del 50 % de las proteínas en las células de algas, así como una técnica relativamente simple para el cultivo que permite un crecimiento óptimo de las mismas (Kotrbaček *et al.*, 2016). Por lo general, las proteínas de las algas están bien equilibradas en cuanto a la composición de aminoácidos que se encuentran en cantidades importantes en determinadas especies. Los contenidos de aminoácidos descritos son comparables, e incluso superiores, a los de ciertas leguminosas como la soja (Bourgougnon *et al.*, 2011).

La digestibilidad de las algas para organismos monogástricos es muy baja debido a la composición de celulosa rígida de la pared celular. Para eliminar esta desventaja, se han llevado a cabo distintas técnicas que han conducido a un incremento significativo de la digestibilidad de la biomasa, alcanzando niveles comparables a la caseína (Kotrbaček *et al.*, 2016). Sin embargo, el cultivo de algas, la separación de las células de la pared por medio por centrifugación y los tratamientos pos-cosecha que incluyen desintegración y secado de la biomasa para incrementar la digestibilidad provocan altos costes de producción. Por lo tanto, el producto final resulta desproporcionadamente caro para la nutrición animal (Kotrbaček *et al.*, 2016). Sin embargo, es concebible que la búsqueda de fuentes proteicas alternativas para el ganado monogástrico podría dar como resultado una mayor demanda de dichos productos, lo que conduciría a economías de escala y a las consiguientes reducciones del coste final del producto (Gerrard *et al.*, 2015). Estos autores describieron que en un sistema de producción ecológica donde se alimentaron pollos con dos raciones una con algas y otra sin ellas se observaron mejores rendimientos tanto sobre la GMD, como sobre el peso final, en aquellos animales que habían recibido algas en su dieta.

Esto sugiere que una dieta basada en fuentes de proteínas locales, suplementada con algas podría reemplazar en su totalidad una dieta dependiente de la soja. Estos resultados coinciden con los publicados por varios autores (Ross *et al.*, 1990; Kaoud, 2012; Shinde *et al.*, 2018), quienes describieron que la inclusión de algas (*Spirulina platensis*) en la dieta de pollos mejoró el IC cuando se le comparaba con la dieta control. Frente a esto

Mahmoud *et al.*, (2017) no encontraron efectos del consumo de algas en pollos de engorde sobre el peso final, el consumo diario o el IC.

5.1.3 Insectos

Con aproximadamente 1,5 a 3 millones de especies, la clase de **insectos** alberga la variedad de especies más grande del mundo, incluidas las especies que proporcionan una gran cantidad de proteínas y contenido de aminoácidos, que pueden explotarse con éxito como alimento para aves de corral (Ramos-Elorduy, 2002; Józefiak *et al.*, 2016). Los insectos contribuyen a la dieta natural de peces y animales monogástricos “*free-range*” en todo el mundo, ofreciendo el potencial de ser utilizados en la alimentación animal eficazmente como alternativas a otras proteínas de origen animal y a la soja (Charlton *et al.*, 2015).

El uso de los insectos, además, contribuiría al control de la contaminación ambiental (Bovera *et al.*, 2015). Esto es debido fundamentalmente a tres factores: (i) la capacidad de reciclaje de estos organismos sobre diversos subproductos agrícolas (Tschirner *et al.*, 2015); (ii) su producción sencilla, a partir de materiales en descomposición como frutas verduras o estiércol, contribuyendo a la transformación de residuos en valiosa biomasa (Cullere *et al.*, 2016); (iii) y el bajo requerimiento de agua y tierra por unidad de proteína cuando se les compara con los cultivos proteínicos (Bovera *et al.*, 2015; Charlton *et al.*, 2015).

En la Unión Europea, el uso de insectos como fuente de proteínas para la alimentación animal está actualmente prohibida para los animales criados para el consumo humano de conformidad con la norma CE 999/2001 (CE, 2001), que prohíbe toda proteína animal procesada (PAP), con la excepción de las proteínas hidrolizadas y, en algunos casos, de la harina de pescado, para su uso en la alimentación animal. Una modificación reciente a esta legislación (Reglamento de la (EU) 2017/893) permite el uso de PAP no rumiantes en la alimentación de acuicultura, incluyéndose el uso de insectos en estos animales. Sin embargo, el uso de insectos en la alimentación animal queda restringido por completo a estas especies.

Aunque la producción de insectos ya es elegible para la certificación ecológica en ciertos países no pertenecientes a la UE (por ejemplo, EE. UU. o Canadá) no lo es en la UE, debido a la ausencia de normas ecológicas de la UE para estos productos. Sin embargo, la Comisión Europea (CE) prevé remediar esta situación mediante el desarrollo de normas específicas para la producción de insectos ecológicos destinados al consumo para los seres humanos y/o para la alimentación animal. Con este fin, los servicios de la CE publicaron recientemente un borrador de documento; es decir, un proyecto de acto delegado a raíz del nuevo marco legislativo de la UE para la producción ecológica (Reglamento 2018/848). Se han creado ciertas adaptaciones para los animales de acuicultura en el marco de la legislación ecológica (especialmente para los peces carnívoros) para garantizar que sus regímenes de alimentación puedan combinar beneficios ambientales y nutricionales (por ejemplo, la composición del producto adaptado a las necesidades nutricionales del animal) (IPIFF, 2019).

Es por ello que, debido a las posibles ventajas y unido a una buena aceptación entre agricultores y consumidores, parece probable que los marcos políticos puedan cambiar en el futuro y hacer posible la utilización de proteínas de insectos como parte de la alimentación animal. Distintos grupos consideran que los invertebrados terrestres, especialmente las larvas de moscas, los gusanos de las harinas y las lombrices de tierra, constituyen un potencial considerable para la producción de proteínas certificadas de alto valor para la alimentación de monogástricos ecológicos; siendo parte de la dieta natural de aves silvestres y de corral (Cullere *et al.*, 2016).

La producción de insectos destinados a formar parte para la alimentación de ganado doméstico ha sido objeto de evaluaciones durante varias décadas (Atteh *et al.*, 1993; Bamgbose, 1999; Leiber *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2017), pero aún no ha alcanzado una etapa que permita la sustitución total de la proteína tradicional (Charlton *et al.*, 2015), requiriéndose futuras investigaciones (Makkar *et al.*, 2014). En 2014, la FAO destacó "la necesidad de centrar los esfuerzos de investigación para proporcionar y ampliar los datos disponibles y exponer la evidencia científica sobre los beneficios del uso de insectos en las dietas de los animales» (FAO, 2013). De hecho, la mayoría de los datos publicados sobre el rendimiento animal derivado del consumo de insectos, provienen de estudios realizados en África y Asia y se centran solo en algunas especies (Makkar *et al.*, 2014; Veldkamp *et al.*, 2015; Hussein *et al.*, 2017; Moula *et al.*, 2019).

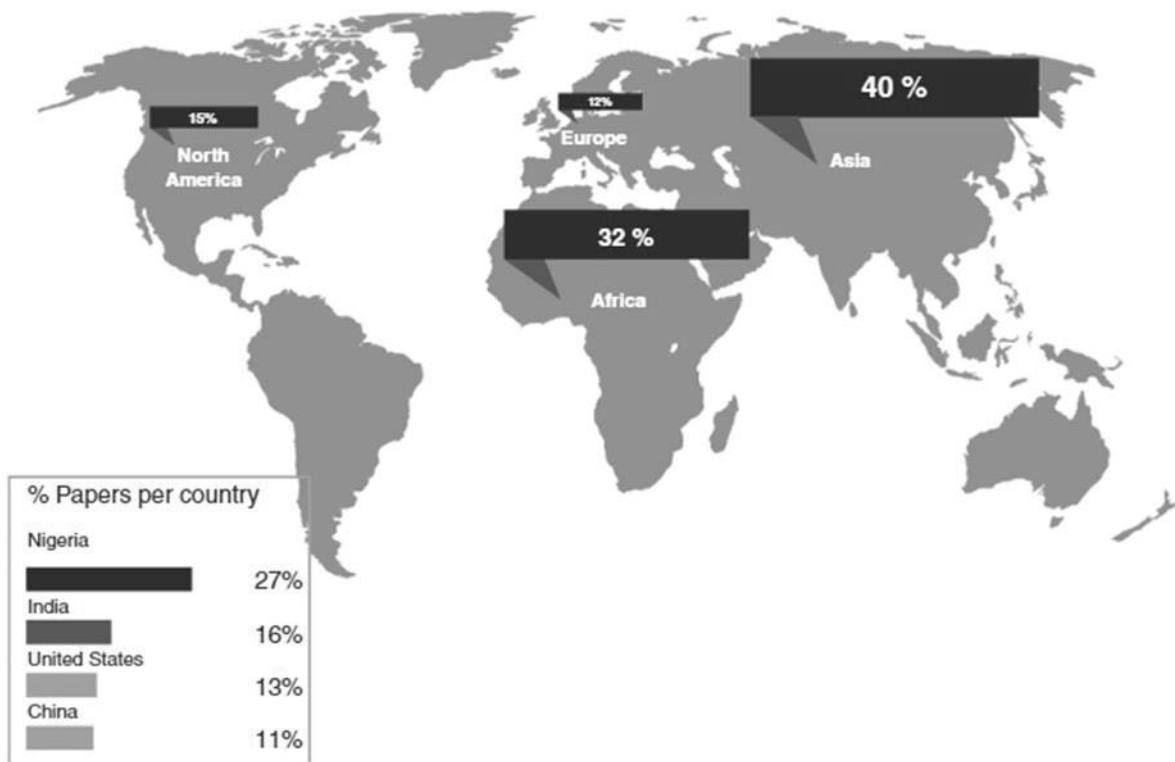


Figura II.VI. Distribución de los estudios de insectos como parte de la dieta en alimentación animal (Fuente: Sánchez-Muros *et al.*, 2016)

Aunque se han realizado experimentos en 27 países, la mayoría de los estudios se realizan en 10 países asiáticos (40 %) y 7 países africanos (34 %).

En Asia, se destacan países como India (15 %) y China (12 %), pero la mayoría de los ensayos de alimentación en África se han realizado en Nigeria (29 %) (Figura II.VI). Es decir, un tercio de los estudios en todo el mundo se realizaron en Nigeria. También se debe tener en cuenta que los investigadores en los Estados Unidos han realizado el 12 % de los estudios de alimentación, pero hay una trayectoria descendente en la investigación realizada en este país. Por ejemplo, 10 estudios se realizaron antes de 2000, pero solo 4 se realizaron después de esa fecha. En contraste, el interés observado en los países europeos parece estar aumentando en los últimos años y 12 (de un total de 13 estudios) se han publicado desde el año 2000. Además de los avances en el desarrollo científico, ha habido un aumento en el número de empresas que producen insectos como alimento para mascotas y también productos derivados de insectos. Hoy en día, el mayor número de partes interesadas se encuentra en Europa (157, principalmente investigación), seguido por los Estados Unidos. Sin embargo, los estudios llevados a cabo hasta la fecha en España sobre la alimentación animal con insectos son limitados (Sánchez-Muros *et al.*, 2016).

El metanálisis llevado a cabo por Moula *et al.* (2019) reveló que, de un total de 41 estudios y 174 ensayos, los insectos se encontraron representados en su mayoría por larvas de mosca soldado negro (29,89 %), gusanos de la harina (20,11 %), gusanos (14,37 %), saltamontes (12,64 %) y otros (22,99 %), como los grillos, gusanos de seda, o langostas. Así mismo, estos autores mostraron que, de forma habitual, los insectos se proporcionaron previamente secados y en harina (desgrasada o no) procedente de empresas especializadas.

Los estudios realizados se han llevado a cabo principalmente en peces (Atteh *et al.*, 1993; Sealey *et al.*, 2011; Barroso *et al.*, 2014; Henry *et al.*, 2015) y aves (Ballitoc *et al.*, 2013; De Marco *et al.*, 2016; Biasato *et al.*, 2017; Allegretti *et al.*, 2018, Khan *et al.*, 2018). Las aves que recibieron estas dietas alternativas fueron en su mayoría pollos de engorde (68,39 %) y gallinas ponedoras (13,22 %). El resto de aves estudiadas (18,39 %) incluyeron codornices, gallinas de Guinea o perdices. Por consiguiente, se requieren estudios en otras regiones utilizando diferentes sistemas de cría y distintas especies que permitan explorar el potencial de los insectos como ingredientes en la alimentación animal, así como para evaluar su efecto sobre la calidad de los productos de origen animal (Cullere *et al.*, 2016).

5.1.3.1 Composición nutricional de los insectos

La concentración de nutrientes de los insectos se encuentra condicionada por una serie de factores (Makkar *et al.*, 2014) como son la especie utilizada y la etapa de vida (Veldkamp *et al.*, 2015), las condiciones ambientales, los hábitos alimentarios de los distintos insectos (Barroso *et al.*, 2014) y la composición de los medios de crecimiento utilizados para la producción de éstos (Makkar *et al.*, 2014). Así mismo, se han descrito variaciones debido al método de procesamiento utilizado para la obtención final del insecto (Aniebo *et al.*, 2010; Barroso *et al.*, 2014). Por ejemplo, las larvas de mosca cultivadas en estiércol de pollo tuvieron un menor contenido de materia seca, pero un mayor contenido de metionina por kg/MS en comparación con las larvas cultivadas en un medio que contiene salvado de trigo, alfalfa, malta y levadura seca (Józefiak *et al.*, 2016).

Esto explica las diferencias encontradas en los distintos estudios que han utilizado la misma especie.

Los contenidos en *proteína bruta* (PB) de estos recursos alternativos son similares a la soja, pero inferiores a la harina de pescado (Barroso *et al.*, 2014). Los insectos se han considerado como fuentes de elevada proteína (entre el 44,2-58,3 %) (Ghosh *et al.*, 2017). Las especies de *Orthoptera* exhiben un contenido de PB más alto, entre 60 y 70 % y los autores atribuyen este incremento a que los adultos presentan mayor proporción de quitina y menor grasa (Barroso *et al.*, 2014). En *Diptera*, los niveles de PB varían del 40 a 50 %, con valores más altos para las larvas de *Chrysomya megacephala*, pupas de *Lucilia sericata* y pupas de *Protophormia terraenova* (50-62 %) (Barroso *et al.*, 2014). Los valores de PB para las larvas de *Musca domestica* varían entre los trabajos publicados con niveles del 46,9 %, (Barroso *et al.*, 2014) 47,1 %, (Ogunji *et al.*, 2008), mientras que otros autores han obtenido resultados más diversos, desde 37,5 % hasta 56,8 % (Aniebo *et al.*, 2010). El porcentaje de PB obtenido en larvas de *Hermetia illucens* es similar entre los autores Sheppard (2002) (37,8 %) y Arango *et al.* (2004) (37%) y ligeramente inferior al valor del 40,6% descrito por Newton *et al.* (1977).

El contenido de *grasa bruta* (GB) de los insectos es muy variable y depende en gran medida de la especie utilizada, por lo general se sitúa entre al 15 y 30 %. Las larvas de coleópteros tienen una gran cantidad de grasa a menudo superior al 25 %, la más alta proporción de grasa se registró para *Tenebrio molitor* con niveles comprendidos entre 30 a 43 % (Ramos-Elorduy *et al.*, 2002; Barroso *et al.*, 2014; Makar *et al.*, 2014). En el caso de *M. domestica* los niveles mostrados por los autores varían entre 13,5-25 % en las larvas (Sheppard *et al.*, 2002; Aniebo *et al.*, 2010), mientras que Barroso *et al.* (2014) mostró niveles más altos (31,3 %). El porcentaje obtenido para las larvas de *Hermetia illucens*, 18 %, es menor en el estudio de Barroso *et al.* (2014) que los valores observados por Sheppard (2002) y Makar *et al.* (2014), ambos superiores al 30 %. Estos autores plantean que la etapa de desarrollo afecta en gran medida el contenido de grasa. En general, se ha observado que las etapas larvarias contenían significativamente más grasa que los adultos (Barroso *et al.*, 2014). Probablemente las diferencias en lípidos entre las mismas especies, señaladas por diferentes autores, podrían relacionarse no solo con la etapa de desarrollo, sino también con la edad de recolección de los mismos. Este fenómeno puede relacionarse con la fase de pupa en la metamorfosis donde las larvas comienzan a almacenar más energía en forma de lípidos (Pearincott, 1960) y la larva utiliza las proteínas en reacciones de la formación de la capa de quitina (Kramer *et al.*, 1986). La dieta parece ser otro factor que influye en el contenido de grasa de los insectos. Una comparación del contenido de grasa del ortóptero salvaje, *Heteracris littoralis* con un 8,2 %, con ortópteros criados en cautividad (*Acheta domestica*, *Gryllus assimilis* y *Locusta migratoria*), con una mayor proporción de grasa, apunta en esta dirección (Barroso *et al.*, 2014).

El estudio realizado por Barroso *et al.* (2014) mostró que el contenido de *ceniza* obtenido para todos los insectos analizados fue menor que en la harina de pescado (18,0 %), con la excepción de la pupa de *Hermetia illucens* (19,7 %). La Tabla II.II recoge la información publicada por Makar *et al.* (2014) para la composición química de dos de los insectos más estudiados en la nutrición

animal frente a dos fuentes proteicas convencionales como son la soja y la harina de pescado.

Tabla II.II. Composición de la harina de algunos insectos frente a fuentes proteicas convencionales (expresado en % de materia seca) Fuente: Makar *et al.* (2014)

	<i>H.illucens</i>	<i>T.molitor</i>	Harina de pescado	Harina de Soja
Proteína Bruta	42,1	52,8	70,6	47
Grasa Bruta	26	36,1	9,9	1,9
Calcio	0,9	0,27	4,34	0,29
Fosforo	8,4	0,78	2,79	0,64

En cuanto a la composición de *aminoácidos*, cuando se compara la harina de pescado frente a los insectos, estos son deficientes en los aminoácidos histidina, lisina, y treonina, pero más ricos en metionina y tirosina que la harina de soja. Los porcentajes de tirosina y valina fueron mayores en todos los insectos analizados que en la harina de pescado. Estos datos revelan que *Diptera* tiene un perfil de aminoácidos similar al de la harina de pescado y *Orthoptera* y *Coleoptera*, tienen mejor perfil de aminoácidos que la harina de soja (Barroso *et al.*, 2014). Ghosh *et al.* (2018) identificaron un total de 17 aminoácidos en los insectos estudiados, excepto para la metionina, el resto de aminoácidos esenciales satisficieron el nivel de proteína recomendado por FAO (2007).

Con respecto a la composición de *minerales* la mayoría de las dietas con insectos son deficientes en calcio y por ello se requiere su suplementación en la dieta, especialmente para los animales en crecimiento y las gallinas ponedoras. Los niveles de calcio y ácidos grasos en las dietas con insectos pueden mejorarse mediante la manipulación del sustrato sobre el que se crían los insectos (Makkar *et al.*, 2014). Por el contrario, Ghosh *et al.* (2017) describieron que los grillos (*Gryllus bimaculatus*) son una buena fuente de minerales especialmente hierro, calcio y zinc.

Otro aspecto interesante de los insectos es su contenido de *péptidos antimicrobianos*. En estudios recientes (Józefiak *et al.*, 2016), se ha observado una mejora en el aumento de peso corporal en los pollos cuando se incluyó *Shelfordella lateralis* en la dieta. Estos resultados pueden explicarse por los efectos de los péptidos (defensina) de estos insectos sobre las poblaciones bacterianas en el íleon. Todo ello, podría favorecer una reducción de la morbilidad y mortalidad de aquellos animales que han recibido estas dietas.

5.1.3.2 Principales especies de insectos como potenciales candidatos en la alimentación animal

Los insectos identificados como más prometedores para la nutrición animal se centran principalmente en tres especies, **las larvas de moscas soldado** (*Hermetia illucens*) (LMS), **la mosca común** (*Musca domestica*) (LMC), **y los gusanos amarillos** (*Tenebrio molitor*) (TM) (Figura II.VII). Las LMS proceden del estiércol de pollos, terneros y cerdos, pero también puede crecer en cultivos vegetales como la pulpa de café, y en despojos del pescado. De forma similar ocurre con las LMC, que crece en el estiércol de pollos, cerdos y

terneros (Veldkamp *et al.*, 2015). En cuanto a la cría de gusanos amarillos, sólo han sido descritas en la literatura en número limitado investigaciones. Estos gusanos se han cultivado en materiales de desecho secos y cocidos de frutas, verduras y cereales en varias combinaciones (Ramos-Elorduy *et al.*, 2002) Para la utilización futura de los insectos como ingredientes sostenibles de la alimentación animal, es importante cultivarlos a partir de fuentes que no se incluyan directamente en los piensos para cerdos o aves de corral (Veldkamp *et al.*, 2015).

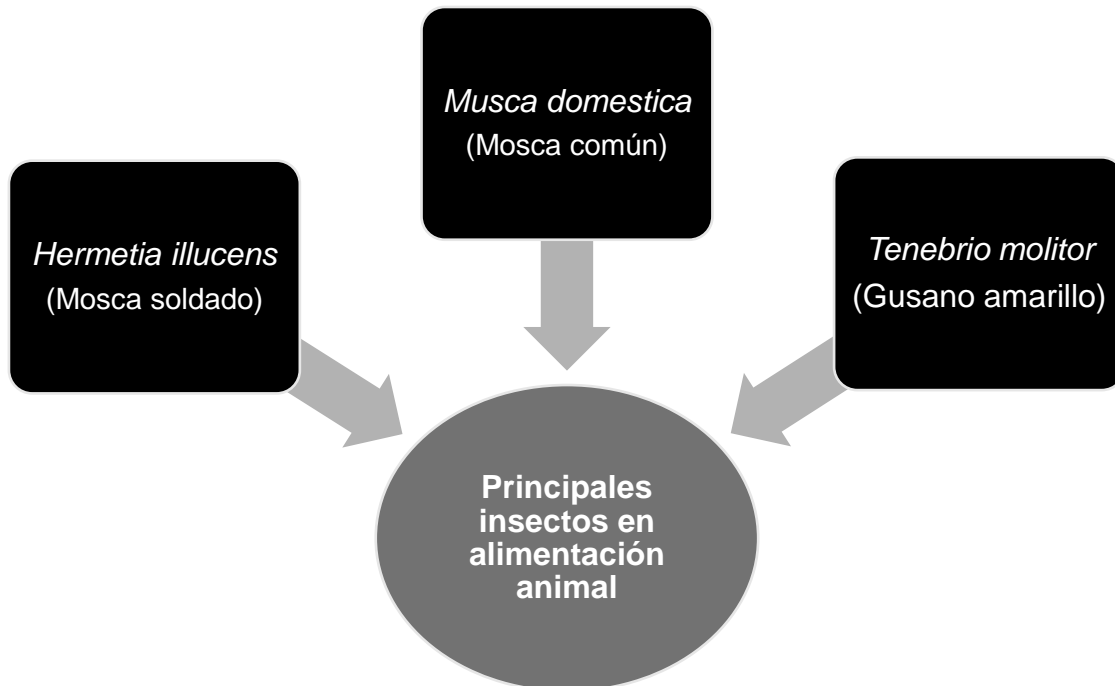


Figura II.VII. Principales insectos utilizados en la alimentación animal

Las moscas soldado (HI) (*Hermetia illucens*) pertenecen a la familia *Stratiomyidae*. Aunque inicialmente esta especie era originaria de zonas tropicales y subtropicales con climas templados de América, actualmente se encuentra ampliamente distribuida a nivel mundial en regiones de climas templados (entre aproximadamente 45° N y 40° S) (Makkar *et al.*, 2014). Estas moscas no muerden ni pican y no actúan como vector en la diseminación de enfermedades específicas. A pesar de que tanto las larvas (LMS) como la fase adulta (HI) son seguras para el ser humano, el consumo de huevos de esta especie puede provocar de forma esporádica miasis entérica o intestinal (Čičková *et al.*, 2015).

Las LMS se alimentan de una inmensa variedad de material ecológico y ya han sido utilizadas en el manejo de desechos a pequeña escala, utilizando sustratos como estiércol, paja de arroz, desperdicios de alimentos, granos de destilería, lodo fecal, despojos de animales o desechos de cocina entre otros (Ramos-Elorduy *et al.*, 2002; Čičková *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2017). La diversidad de sustratos que pueden procesar y la eficiencia con la que lo hacen puede ser la más alta entre todas las especies de moscas (Wang *et al.*, 2017). LMS puede convertir estos sustratos en proteínas de alta calidad, cuyo contenido oscila entre 38 % y 46 % de MS (Schivavone *et al.*, 2017). Así mismo, LMS pueden acumular lípidos en su cuerpo cuando son alimentados con una dieta rica en

lípidos como las pre-pupas mejoradas con ácidos grasos omega 3 que se producen cuando la dieta larval se complementa con despojos de pescado (Wang *et al.*, 2017). La composición de aminoácidos de LMS es rica en metionina y lisina (9,05 y 22,3 g/kg MS, respectivamente), y se ha encontrado que es similar o incluso superior a la de la soja (Schiavone *et al.*, 2017).

Distintos autores ya consideran el aceite y la harina de LMS una alternativa de calidad a otras fuentes proteicas como la harina o el aceite de pescado, utilizado para alimentar peces carnívoros y en otras dietas animales, debido a su alto contenido de proteínas y lípidos (Schiavone *et al.*, 2017). En experimentos con codornices de engorde (*Coturnix coturnix japonica*) no se encontraron diferencias entre el control y los animales en los que se habían incluido dos proporciones de harina LMS en su alimentación sobre el rendimiento productivo (IC y GMD), peso de la pechuga y rendimiento de la misma (Cullere *et al.*, 2016). En otros estudios (Dabbou *et al.*, 2018), se observó un incremento del peso y de la GMD a medida que aumentaba la concentración de harina en el pienso (máximo hasta el 10 %) durante la fase inicial y de crecimiento de los pollos. Se ha relacionado este hecho con un mayor consumo de pienso. Las LMS también son muy apetecibles para las aves de corral y se ha indicado que las gallinas ponedoras buscan LMS en los comederos en lugar de seguir alimentándose con trigo y soja *ad libitum* (Ruhnke *et al.*, 2017).

Cullere *et al.* (2018), mostraron que la suplementación LMS no tuvo efecto en los aspectos sensoriales de la pechuga de codorniz, estado oxidativo, y composición química, y mejoró el contenido de aminoácidos de la carne para finalmente incrementar el valor nutricional (aumento de ácido aspártico, ácido glutámico, alanina, serina, tirosina y treonina). Las dietas más altas en proteínas inducen un mayor contenido de proteína de la carne, al tiempo que reducen el contenido de grasa de los músculos (Bogosavljević-Bošković *et al.*, 2010; Meluzzi *et al.*, 2009). Sin embargo, aumentó los niveles de los ácidos grasos saturados (SFA) y monoinsaturados (MUFA) en detrimento del nivel de poliinsaturados (PUFA) (Cullere *et al.*, 2018). Se encontraron efectos similares con la suplementación de LMS en la dieta de pollos de engorde (*Gallus gallus domesticus*), con la salvedad de que el uso de LMS redujo el impacto negativo en los perfiles de ácidos grasos. En ambos casos, los autores descubrieron que la LMS es una prometedora fuente de proteínas para la alimentación avícola (Schiavone *et al.*, 2017) y los autores concluyeron que la inclusión de LMS garantizaba resultados satisfactorios para los rendimientos productivos, características de la canal y calidad general de la carne.

Por lo tanto, LMS es una posible sustitución parcial para la alimentación de las aves de corral que proporciona proteínas añadidas con la ventaja de que LMS puede criarse sobre el estiércol de las mismas aves que las consumen, a la vez que valoriza y recicla los residuos. (Wang *et al.*, 2017). Sin embargo, la aceptabilidad de los animales, las tasas de conversión de los piensos, los problemas de salud de los animales y la calidad de los productos alimenticios derivados de animales que se pueden obtener son de especial interés y aún no se han investigado lo suficiente (Schiavone *et al.*, 2017).

Los métodos de cría de moscas existentes se han concentrado principalmente en LMS (St-Hilaire *et al.*, 2007). Sin embargo *H. illucens*, al

tratarse de una especie tropical puede no ser un candidato adecuado para producción de fuentes proteicas alternativas en Europa (Charlton *et al.*, 2015). Con el fin de hacer avances apreciables en la sustitución de proteínas tradicionales para la alimentación animal en Europa, la producción de insectos tendrá que ocurrir a gran escala, ser altamente eficiente y hacer uso de desechos disponibles. Esto puede lograrse mejor mediante el uso de la **mosca doméstica o mosca común (LMC)** (*Musca domestica*) debido a su capacidad para habitar en una amplia gama de climas (Charlton *et al.*, 2015).

LMC también tiene un ciclo de vida corto que resulta en la conversión eficiente de desechos agrícolas en proteínas altamente digestibles con altos niveles de aminoácidos esenciales (Awoniyi *et al.*, 2003; Hwangbo *et al.*, 2009). El análisis nutricional de la harina de larva de *M. domestica* realizado por Hussein *et al.* (2017) mostró valores comparables a la mayoría de los ingredientes de alto contenido proteico. Estos análisis reflejaron un contenido del 60 % de proteína con un perfil de aminoácidos bien equilibrado y 20 % de grasa con un 57% de MUFA y un 39 % de SFA. Los resultados confirmaron que la harina de larvas tenía todas las cualidades para clasificarse como ingrediente de alta proteína ya que la proporción de proteína cruda en la harina de larvas es comparable a los valores encontrados para la harina de pescado (65,3 % de PB) y más alta que los valores registrados para la harina de soja (49,4 % de PB). La evaluación de los micronutrientes en la harina de larvas sugirió que es una buena fuente de calcio y fósforo (0,5 % y 1,1 % respectivamente). Estos autores concluyeron que, en base a los análisis realizados, la harina de larvas de mosca puede ser un sustituto mejorado de la harina de soja y muy comparable a la harina de pescado como ingrediente de la alimentación para las operaciones ganaderas y acuícolas (Hussein *et al.*, 2017).

Distintos autores han evaluado el impacto que han tenido dietas con inclusión del 5, 10 y 20 % de larvas de mosca en la alimentación de pollos sobre el crecimiento y la calidad de la carne. Dietas que contenían 10-15 % de la LMC mejoraron la calidad de la carne y el crecimiento de pollos broiler (Hwangbo *et al.*, 2009). Pretorius (2011) describió que la carne de la pechuga de pollos alimentados con LMC, no tuvieron variaciones con respecto al control en términos de color o pH.

Awoniyi *et al.* (2003) realizaron un estudio con pollos broiler entre 3 y 9 semanas, alimentados con LMC que reemplazaba en distintas proporciones el uso de pescado como fuente de proteína. En consonancia, Pretorius (2011) describió que se podría incluir LMC en la dieta de pollos hasta un 25 % sin afectar negativamente sobre el rendimiento productivo de los animales. La dieta que incorporaba en un 25 % la LMC fue la más eficaz en términos de ganancia de peso diario y ratio de eficiencia proteica. En otro estudio, Adeniji (2007) reemplazo la fuente proteica en un 0, 25, 50, 75 y 100 % de por harina de LMC en la dieta de pollos de engorde y concluyó que la inclusión de esta harina podría reemplazar hasta el 100 % del nivel la fuente proteica en las dietas de los pollos sin efecto adverso en el rendimiento. En cuanto a la calidad, a las nueve semanas de vida la longitud relativa, la amplitud y los pesos de la pechuga y del músculo gastrocnemio no se encuentran influenciados por la alimentación (Awoniyi *et al.*, 2003). Frente a esto, otros autores consideran que la inclusión de LMC por encima del 10 % podría provocar un descenso del consumo, asociado

quizá al oscurecimiento del alimento, que tendría una menor apetencia para los pollos (Atteh *et al.*, 1993; Bamgbose, 1999).

A pesar de que las LMC y las LMS son las especies de moscas más estudiadas para la nutrición animal; las especies de **Calliphoridae** también se han estudiado como una fuente potencial de proteína para la alimentación animal, aunque de forma mucho más limitada (Charlton *et al.*, 2015). Calliphoridae son una familia de dípteros braquíceros que incluye numerosas especies llamadas comúnmente, entre otras denominaciones y en dependencia de la zona geográfica moscardones o moscardas de la carne, moscas azules o verdes, en inglés son conocidas genéricamente como “*blowfly*”, “*bottle flies*”, “*carrion-flies*” o “*fleece-fly strike*” para los australianos. Están ampliamente distribuidos en vastas regiones del mundo, incluyendo la Regiones orientales, Australasia, Palearctica, Sudafricana y Afrotropical. Esta especie es de gran importancia en la medicina forense ya que, en muchas partes del mundo, se han usado el tamaño y las etapas de desarrollo de las “*blowfly*” en los cadáveres para estimar el intervalo post mortem (Sing *et al.*, 2012).

Tabla II.III Composición de aminoácidos de la larva de *C. megacephala*. Fuente: Sing *et al.* (2012)

AMINOÁCIDOS			
Aminoácidos Esenciales	Concentración Relativa (%)	Aminoácidos no Esenciales	Concentración Relativa (%)
Histidina	1,02	Acido Aspártico	3,87
Treonina	2,19	Ácido Glutámico	7,26
Valina	2,2	Serina	1,94
Metionina	1,02	Glicina	2,27
Isoleucina	4,1	Arginina	2,43
Leucina	3,41	Alanina	2,73
Fenilalanina	1,72	Prolina	2,05
Lisina	3,72	Tirosina	1,48
		Cisteína	0,36

El estudio realizado por Sing *et al.* (2012) determinó el perfil de aminoácidos presente en *Chrysomya megacephala* como fuente alternativa proteica en la dieta de tilapias (*Oreochromis spp.*). Como se observa en la Tabla II.III la mayoría de los aminoácidos esenciales estaban presentes en esta especie; haciendo del extracto de harina de este insecto un mejor candidato que la harina de pescado para su selección como fuente de proteína en la alimentación animal. En cuanto a la composición proteica, el mismo estudio propuso variaciones en la concentración de proteína en función del análisis realizado hallando valores comprendidos entre 49,2-55,5 %. Así mismo, estos autores proponen que las proteínas que se detectaron mediante electroforesis y Western Blot, fueron proteínas de bajo peso molecular. Esto parece ser una ventaja, ya que tienen una gran solubilidad y son fácilmente digestibles cuando se les compara con proteínas de alto peso molecular.

Como se ha citado, los estudios relacionados con la inclusión de esta especie son menores en comparación con otros insectos más habituales.

Lachica *et al.* (2011) observaron una mejora del IC en el grupo de perdices rojas (*Alectoris rufa*) en las que se había suplementado la dieta con *Calliphora sp. larvae* (2,04 vs. 2,29). La proporción de consumo de las larvas frente a la dieta comercial fue de 66,1, 70,6 y 58,1 % para la primera segunda y tercera semana respectivamente, y se estabilizó a partir de la cuarta semana. Estos autores indican que siempre que se incluyan insectos durante las primeras semanas de vida, los pollitos tendrán preferencia por estas dietas como parte de su comportamiento natural. Sing *et al.* (2012) encontraron resultados similares para juveniles de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en las que el reemplazo cada vez mayor de proteína de pescado por larvas de mosca de la especie Calliphoridae (*Chrysomya megacephala*) en las dietas mejoró el crecimiento, la eficiencia alimenticia y la supervivencia. Así mismo, se han observado capacidades antivirales y antitumorales para esta especie. Por ejemplo, los aloferones, péptidos ligeramente catiónicos aislados de la sangre de *Calliphora vicina*, hicieron que los ratones mostraran una mayor resistencia antitumoral y antiviral. Se encontraron pruebas de la actividad antiviral contra el virus de influenza, infecciones por herpes simple y hepatitis B y C (Chernysh *et al.*, 2004). Sin embargo, tal y como muestran las búsquedas realizadas, los estudios hallados sobre el uso de esta especie como parte de la dieta de pollos son claramente inferiores cuando se les compara con los publicados sobre LMS o las LMC. Esto plantea que, a pesar de no ser una especie común en cuanto a la inclusión en la alimentación de las aves, podría suponer una oportunidad de estudio.

Entre los insectos disponibles para la alimentación animal destaca también la harina de lombrices (*Tenebrio molitor*) (TM). Estas especies constituyen una proteína interesante como fuente en la alimentación de peces, aves de corral y cerdos (Veldkamp *et al.*, 2012). La harina de TM contiene 65,6 % de proteína bruta (Bovera *et al.*, 2015) y un alto contenido en grasa (34,5 %) sugiriendo un papel importante de este insecto como fuente de aceite (Ghosh *et al.*, 2017). También contiene el 58,6 % de aminoácidos esenciales, concretamente lisina, la cual es necesaria para el correcto crecimiento del pollo (Istiqomah *et al.*, 2009) sin embargo, los niveles de metionina son limitantes (Bovera *et al.*, 2015).

Estos insectos son ricos en quitina, que es un polisacárido que constituye el exoesqueleto de insectos y crustáceos. Aunque la quitina reduce la digestibilidad de la proteína de pollos de engorde y podría tener un efecto negativo sobre el peso final de los pollos que reciben esta dieta (Khempaka *et al.*, 2011), se ha descrito que este polisacárido actúa como prebiótico al mejorar la respuesta inmune de las aves (Bovera *et al.*, 2015) y que aumenta la producción cecal de ácido butírico (Khempaka *et al.*, 2011), el cual se considera la principal fuente de energía para los enterocitos. Esto último daría como resultado un aumento del flujo sanguíneo intestinal mejorando finalmente la oxigenación tisular y el transporte de nutrientes y su absorción (Mahdavi *et al.*, 2009). Además, las secreciones larvales de ciertos insectos pueden ser ricos en propiedades antimicrobianas, las cuales son responsables de la respuesta humoral de los insectos en el sistema inmune, implicando la producción de péptidos con actividad antimicrobiana y ejerciendo un posible efecto positivo sobre la microbiota intestinal (Cullere *et al.*, 2016). Así mismo, ha sido descrito que la inclusión de estos insectos con alrededor de un 3 % de quitina en la dieta de pollos, aumentan las poblaciones intestinales de *Lactobacillus spp.*

disminuyendo *Escherichia coli* intestinal y *Salmonella spp.* reduciendo el uso de antibióticos (Van Huis, 2013).

Diversos proyectos han investigado sobre la alimentación de animales de experimentación (como truchas y ratones) con lombrices obteniendo resultados interesantes con respecto a la formulación de dietas apropiadas para la nutrición animal (Vielma *et al.*, 2008; Ballitoc *et al.*, 2013; Bahadori *et al.*, 2015). Se ha descrito que la reducción de los niveles de soja (reemplazando dietas con inclusión del 31, 26 y 20 % de soja por niveles de 0, 5 y 10 % de harina de lombrices) en la dieta de pollos broiler (Ramos-Elorduy *et al.*, 2002; Prayogui, 2011) no mostró diferencias en el rendimiento productivo (GMD e IC) de los animales entre los distintos tratamientos. En contraste, Biasato *et al.* (2017) y Loponte *et al.* (2017) hallaron una mejora sobre estos parámetros cuando se incrementó la concentración de la harina. Sin embargo, otro estudio mostró que cuando la tasa de inclusión para TM se incrementó al 15 %, la cantidad de alimento consumido disminuyó (Prayogui, 2011). Bovera *et al.* (2015) describieron que los mayores hallazgos con respecto a la inclusión de TM fueron a nivel intestinal, donde se observó un aumento tanto del tamaño como del peso de la región ileal y cecal. En consonancia, Ballitoc *et al.* (2013) describieron un aumento del tamaño y peso del intestino, pero sin diferencias entre las distintas regiones intestinales. Por el contrario, Biasato *et al.* (2017) no hallaron variaciones sobre el tejido intestinal ante la inclusión de TM, mientras que Loponte *et al.* (2017) encontraron valores más altos para el peso intestinal y cecal en el grupo con control que los que habían recibido TM en la dieta. Estas diferencias pueden deberse a la cantidad de quitina presente en la propia especie que puede modular las variaciones halladas (Bovera *et al.*, 2015),

Conclusiones principales sobre las fuentes alternativas

Los resultados hallados en producción de pollos indican que el uso de las fuentes alternativas de proteínas que se exponen permite alcanzar unos rendimientos similares a los obtenidos cuando se emplea soja como fuente proteica, al tiempo que se logra una eficiencia de alimentación y calidad del producto equivalentes (Dabbou *et al.*, 2018). Las experiencias previas consultadas, muestran el potencial de todas las fuentes de proteínas alternativas experimentales para servir como sustitutos parciales de la torta de soja en dietas para aves de corral ecológicas. En comparación con el control la ingesta de alimento, el aumento de peso diario, el peso de la canal y la eficiencia alimenticia han mostrado datos equivalentes para todas las dietas experimentales e incluso superiores (Tegua *et al.*, 2002; Hwangbo *et al.*, 2009; Biasato *et al.*, 2017; Dabbou *et al.*, 2018). Así mismo, tampoco se han observado modificaciones que afecten de forma negativa a la calidad de la carne cuando se reemplaza la soja por otras fuentes proteicas alternativas (Leiber *et al.*, 2017).

A pesar de las aparentes ventajas de las fuentes alternativas de proteína, este tipo de alimentación no ha sido probada sobre la alimentación de pollos en sistemas de producción ecológica en España. Los investigadores concluyen que se necesitan más esfuerzos de investigación para analizar a fondo el impacto de la de inclusión de diferentes fuentes proteicas en la alimentación animal y, concretamente, sobre la avicultura. Además, los efectos sobre los parámetros de calidad y las propiedades sensoriales de la carne con respecto al uso de insectos

en la alimentación de los animales deben ser cuidadosamente investigados tanto para la aceptación del consumidor como para fines de marketing (Cullere *et al.*, 2016).

5.2 Condiciones ambientales

En la producción avícola el sistema de crianza es el factor más complejo que modifica la cantidad y calidad de estos productos. Este sistema agrupa las condiciones ambientales, como el programa de iluminación, la temperatura, la ventilación, la humedad relativa o la densidad, así como el valor nutritivo de la alimentación. Cada uno de estos elementos, tomados en conjunto o por separado, puede constituir una oportunidad óptima para la producción avícola o convertirse en un factor estresante que cause problemas de salud y disminuya la productividad del animal (Batkowska *et al.*, 2017). Es por ello que el rendimiento productivo de las aves depende de forma directa de las condiciones ambientales, independientemente del tipo de sistema productivo. Las condiciones de temperatura (Zhang *et al.*, 2012; Tang *et al.*, 2013; Bhaduria *et al.*, 2016) y la densidad de animales (Tong *et al.*, 2012; Ligaraba *et al.*, 2016; Siaga *et al.*, 2017) son dos de los factores que han sido estudiados con mayor frecuencia para determinar su influencia en la productividad de pollos.

5.2.2 Densidad

La densidad de población máxima se puede definir como el número de aves o el peso de éstas, por superficie del gallinero (kg Peso vivo/m²) (Berg *et al.*, 2012). La densidad afecta a la tasa de crecimiento, y repercute de forma directa sobre el bienestar animal (Kryeziu *et al.*, 2018). Aunque el uso de altas densidades de población puede disminuir el crecimiento individual (Sorensen *et al.*, 2000; Feddes *et al.*, 2002), esto no siempre ha sido un incentivo para los productores, quienes al disminuir la densidad asociaban ésta a una mayor pérdida económica debido al menor aprovechamiento del suelo (Madilindi *et al.*, 2018). Sin embargo, los conocimientos sobre bienestar animal han hecho que hoy en día este planteamiento se encuentre en duda (Buijs *et al.*, 2009; Kryeziu *et al.*, 2018). Durante los últimos años, los ciudadanos perciben la densidad de población como una de las principales prioridades para el bienestar animal y están preocupados por las elevadas densidades utilizadas en la producción ganadera comercial (Vanhonacker *et al.*, 2009).

La densidad varía enormemente en función tanto del país como del sistema productivo (Buijs *et al.*, 2009). En Europa, para la producción industrial de pollos la densidad de carga se ha fijado en 30 kg PV/m² con una opción para aumentarla a 39 o 42 kg PV/m², siempre que se cumplan las normas establecidas (Comisión Europea, 2007).

En cuanto a la producción ecológica queda regulada en la sección 2 del Reglamento (UE) 2018/848 donde se establecen las normas para los alojamientos de los animales criados bajo este sistema productivo. Se establece que, en el caso de las zonas cubiertas para aves de corral en alojamientos fijos, será un máximo de 10 animales con un peso en vivo máximo de 21 kg/m². En cuanto a la zona al aire libre, se establecen 4 pollos/m² de espacio disponible en rotación/cabeza.

Se han realizado estudios sobre los efectos de la densidad de población en el rendimiento de los pollos de engorde bajo condiciones industriales, pero los resultados han sido conflictivos. Algunos estudios no mostraron una influencia significativa de la densidad de población en el rendimiento de los pollos de engorde (Buijs *et al.*, 2009; Rambau *et al.*, 2016) mientras que otros demostraron efectos adversos de altas densidades de población en el peso corporal final, la ingesta de alimento y la relación de conversión de alimento (Malone *et al.*, 1980; Dozier *et al.*, 2006; Petek *et al.*, 2010; Hassanein, 2011; Simitzis *et al.*, 2012; Siaga *et al.*, 2017; Madilindi *et al.*, 2018). En contraste, Rambau *et al.* (2016) no encontraron diferencias significativas en cuanto al incremento de peso final cuando se mantenían los pollos en diferentes densidades. Algunos investigadores (Tsiouris, 2016) también han llegado a la conclusión de que la densidad de población puede afectar a la viscosidad del contenido intestinal y la prevalencia de enteritis necrótica en pollos, incrementando con ello la morbilidad y la mortalidad de estas aves. Sin embargo, en otros estudios se encontró un mejor rendimiento de los pollos de engorde con una mayor densidad de población (Feddes *et al.*, 2002). Es por ello que, hasta la fecha, existe un resultado controvertido sobre cómo la densidad actúa sobre los parámetros productivos de los pollos y cuál es la adecuada.

Cömert *et al.* (2016) describieron un aumento de peso corporal para aves de crecimiento lento en sistemas extensivos cuando se les comparaba con sistema de producción intensiva. Estas diferencias que describen un mayor peso de las aves en condiciones de semilibertad pueden atribuirse a una mayor comodidad y bienestar de las aves. En ello coinciden Da Silva *et al.* (2017), quienes consideran que los cambios en el ambiente de crianza que disminuyan las condiciones estresantes y seleccionan animales más resistentes, pueden mejorar el confort, el bienestar y consecuentemente el rendimiento de las aves. Así mismo, se ha descrito que los huesos del ala (húmero, radio y cúbito) de pollos procedentes de sistemas de producción ecológica tienen un mayor peso al sacrificio que los de la producción industrial (Fanatico *et al.*, 2005; Abdullah *et al.*, 2016). La menor densidad de pollos en el área y el ejercicio intensivo en el sistema al aire libre permiten un mayor uso de las alas, lo que se refleja en un mayor desarrollo de la masa muscular y de los huesos. Frente a esto, existen autores que han señalado un menor peso de la canal cuando se comparan las aves de crecimiento lento frente a las de crecimiento rápido utilizadas en la producción industrial, atribuyéndolo a un mayor ejercicio y por lo tanto, mayor gasto energético que repercute en un menor peso de la canal de los animales (Castellini *et al.*, 2002; Abdullah *et al.*, 2016; Cömert *et al.*, 2016).

5.2.1 Temperatura

El cambio de la situación climática supone hoy en día una evidencia para todos. Las tendencias climáticas observadas y las proyecciones para el futuro señalan en Europa un incremento general de las temperaturas, un incremento de las precipitaciones en Europa septentrional y una disminución de las precipitaciones en Europa meridional (Field *et al.*, 2014). Varios estudios señalan que las tendencias de temperatura son importantes para determinar tanto los impactos pasados como futuros del cambio climático sobre el rendimiento de los cultivos a escala global y sub-continental y sus variaciones pueden tener un importante impacto sobre la ganadería. Sin embargo, el número de trabajos

publicados del efecto de la climatología sobre la ganadería, es considerablemente inferior (Agriadapt, 2017). La relativa falta de evidencias es reflejo de la falta de estudios sobre el tema, pero no necesariamente de la ausencia de impactos reales de las tendencias climáticas observadas. Parece lógico pensar que el cambio de la climatología tendrá una mayor repercusión sobre los animales en pastoreo frente a los que están estabulados.

Las variaciones térmicas esperadas como consecuencia del cambio climático representan un desafío para la producción avícola alternativa (como la producción ecológica y campera), donde pequeñas variaciones en la temperatura ambiente provoca efectos negativos sobre su desarrollo productivo. Los altos valores de temperatura del aire y humedad relativa, principalmente en el verano de estos últimos años, generan condiciones de incomodidad térmica casi permanente a las aves, lo que dificulta su desempeño productivo y constituye uno de los principales problemas que afectan a su producción (Bhadauria *et al.*, 2014). Muchos factores meteorológicos pueden afectar marcadamente en el intercambio de calor corporal de los animales y, por lo tanto, sobre sus requerimientos energéticos (Peana *et al.*, 2017).

Las aves son animales homeotermos, que mantienen su temperatura corporal dentro de un estrecho rango de temperatura ambiental llamada zona de confort o termoneutra que se define como el rango de temperaturas ambientales en el que se consigue regular la temperatura únicamente a través de la transmisión de calor sensible (Bligh *et al.*, 1973).

La temperatura es uno de los factores más importantes que condiciona la vida productiva del pollo desde su origen. El proceso de convertir el contenido de un huevo en un pollito de un día se debe a la temperatura. Un aumento en la temperatura resultará en un aumento en el desarrollo, pero también aumentará la demanda de nutrientes. Si la demanda de algunos nutrientes no se puede satisfacer o el sistema no puede satisfacer el proceso de conversión del contenido de huevo en embrión, se producirá una menor incubabilidad y la calidad de los pollitos. Es importante darse cuenta de que es la temperatura dentro del huevo, la llamada temperatura del embrión, la que impulsa su desarrollo. La producción de calor del embrión no es un factor constante. Las razas de alto rendimiento parecen producir más calor como embrión que los genotipos clásicos, pero también los huevos más grandes producen más calor. El estudio realizado por Qureshi *et al.* (2018) mostró que una disminución de la temperatura en los días previos a la eclosión podría dar lugar a pollitos mejor adaptados frente a temperaturas de crianzas más bajas y que afectaría de forma positiva sobre el peso final de los animales. En contraste, Ipek *et al.* (2015) han descrito que cambios en la temperatura de incubación del pollito pueden ser responsables de un incremento significativo en la incidencia de pododermatitis y una disminución del peso final al sacrificio.

Durante los primeros días de vida la capacidad termorreguladora de un pollito joven no está bien desarrollada requiriendo de temperaturas ambientales elevadas (entre 30 y 33 °C) para mantener su temperatura corporal (Oviedo-Rondon, 2014; Skomorucha *et al.*, 2017) y evitar pérdidas de calor sensible por convección (al aire) y por conducción (a la cama), que pueden cuantificarse en 0,5 kcal/hr/kg (Reece *et al.*, 1982). Con el desarrollo del pollo y la posterior

maduración del sistema termorregulador y el aumento de la reserva energética, la temperatura óptima para los pollos va descendiendo paulatinamente desde los 24 °C a las 4 semanas hasta los 18 °C a las 6 semanas (Olanrewaju *et al.*, 2010). Así, con 4 semanas de edad, los pollos requieren entre 21 y 23 °C (Furlan, 2004; Abreu *et al.*, 2011), sobre 21 °C con 5 semanas (Chepete *et al.*, 2013), reduciéndose hasta los 20 °C en la sexta semana (Furlan, 2004; Abreu *et al.*, 2011).

En las aves la zona de confort varía de acuerdo a su constitución genética, edad, sexo, tamaño corporal, dieta, estado fisiológico, humedad, radiación y velocidad de aire. En la zona de confort, la tasa metabólica es mínima y la homeotermia se mantiene con menos gasto de energía; por lo tanto, la fracción de energía metabolizable utilizada para la termogénesis es mínimo y el aprovechamiento de la energía ingerida para el crecimiento es máxima (Nascimento *et al.*, 2017). Para mantener la temperatura corporal dentro de los límites de la zona de confort, los animales utilizan las diferentes vías de intercambio de calor con el medio: calor latente a través de la respiración y calor sensible mediante la transmisión de calor por radiación, conducción y convección. Los estudios publicados han mostrado efectos negativos sobre la producción de pollos tanto cuando se incrementa la temperatura o se disminuye por debajo del rango de termoneutralidad (Zhang *et al.*, 2012; Tang *et al.*, 2013; Bhaduria *et al.*, 2016; Qureshi *et al.*, 2018).

Las aves de corral no están bien adaptadas a altas temperaturas del ambiente ya que carecen de glándulas sudoríparas en la piel y por lo tanto no pueden perder calor a través del enfriamiento evaporativo natural, aunque hay una cierta difusión directa de agua a través del tejido de la piel. Solo los apéndices de la cabeza (por ejemplo, la cresta) son muy ricos en vasos sanguíneos y pueden actuar como sitios para la pérdida directa de calor. Comparado con otras especies, los pollos de engorde son más sensibles a la temperatura ambiente debido a su alta temperatura corporal, metabolismo rápido y falta de glándulas sudoríparas (Tang *et al.*, 2013).

A nivel biológico, la exposición crónica o aguda de los pollos al calor manifiesta un estado de estrés que afecta el metabolismo y al endotelio vascular y, consecuentemente, altera la permeabilidad vascular y se produce edema, aceleración del pulso, temblores musculares y colapso. La miopatía asociada a hipertermia se caracteriza por un incremento de la isoenzima creatin-quinasa en la actividad en el plasma. Además, cuando se sobrepasa un límite térmico tiene lugar la desnaturalización de proteínas y de enzimas, afectando a las membranas y conduciendo a cambios en sus características y permeabilidad, con pérdida de constituyentes celulares y reducción de los mecanismos naturales de defensa e inmunosupresión, repercutiendo sobre la calidad de la carne (Tang *et al.*, 2013). Consecuentemente junto a estos cambios metabólicos tiene lugar una serie de cambios a nivel productivo que provocan, entre otros, una reducción de la digestión de nutrientes como resultado de la disminución del flujo sanguíneo al sistema digestivo (Tang *et al.*, 2013).

La respuesta de los pollos a altas temperaturas difiere en función de la humedad relativa. Alta temperatura acompañado de alta humedad es más perjudicial para el crecimiento de pollos que las altas temperaturas con baja

humedad. Al mismo tiempo, una temperatura alta constante de 30-32°C es más perjudicial para los pollos de engorde que temperaturas cíclicas o alternas de 30-32°C por día y 25°C por noche. Por lo tanto, la eficiencia de conversión se encuentra sujeta a las fluctuaciones debido a los cambios estacionales y de temperatura ambiente (Daghir, 2000).

Los efectos del estrés térmico en el rendimiento del pollo de engorde y la calidad de la carne se han investigado extensamente en la producción intensiva con condiciones de humedad y temperaturas controladas (Akşit *et al.*, 2006; Blahová *et al.*, 2007; Akşit *et al.*, 2008, Qureshi *et al.*, 2018). Sin embargo, estos estudios son más limitados cuando buscamos el efecto de las condiciones ambientales cuando se trata de sistemas de producción al aire libre.

El estrés por calor interfiere en la comodidad de los pollos de engorde y suprime la eficiencia productiva, el consumo de alimento, la tasa de crecimiento, el IC y el aumento de peso vivo (Yalçın *et al.*, 1997; Yunis *et al.*, 1999; Donkoh, 1989; Van der Sluis, 2004; Ghazi *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2012; Bhadauria *et al.*, 2014). Además, los animales pasan más tiempo bebiendo, jadeando y descansando que comiendo (Bhadauria *et al.*, 2014). Estos resultados pueden explicarse por la dificultad de disipar el calor interno a altas temperaturas ambiente a través de las plumas, lo que conduce a una disminución de la ingesta de alimentos (Akşit *et al.*, 2006).

En un estudio reciente, los pollos de engorde en condiciones industriales sometidos a estrés térmico crónico redujeron significativamente la ingesta de alimento (-16,4 %), presentaron un peso corporal más bajo (-32,6 %) y un IC mayor (+ 25,6 %) a los 42 días de edad (Sohail *et al.* 2012). Se ha demostrado que en pollos de producción industrial en los que las condiciones se encuentran totalmente controladas, un aumento en la temperatura de las instalaciones de 21,1 °C a 32,2 °C causó una caída en el consumo de alimento de aproximadamente 9,5 % por ave/día desde la primera semana hasta la sexta semana de edad (North *et al.*, 1990). Lin *et al.*, (2006) describieron que temperaturas superiores a los 31 °C ejercen una presión selectiva sobre el consumo de alimento y el tiempo de crecimiento repercutiendo en ellos de forma negativa. Además, la exposición a altas temperaturas durante periodos prolongados provoca una disminución de la proporción del músculo de la pechuga aumentando la proporción de músculo del muslo cuando se expresa como un porcentaje del peso total (Sonaiya *et al.*, 1990; Zhang *et al.*, 2012). Temim *et al.* (2000) informaron que la proporción del músculo pectoral mayor fue menor a 32 °C que a 22 °C, pero los de sartorio y gastrocnemio fueron más altos. La proporción reducida de pechuga y el aumento de la proporción de muslos también fueron encontrados por Ain Baziz *et al.* (1996).

Así mismo, se ha descrito que el incremento de la temperatura por encima del umbral de confort repercute de forma negativa sobre la tasa de mortalidad debido a la inmunidad deprimida y, en definitiva, sobre el coste de producción (Bhadauria *et al.*, 2014). En ello coincide Quinteiro-Filho *et al.* (2017), que hallaron un incremento de la mortalidad en los pollitos sometidos a estrés térmico asociado a un aumento de la inflamación y la translocación de *Salmonella entérica* en pollos.

Las condiciones climáticas en sistemas ecológicos han sido descritas como capaces de modificar el peso corporal de los animales. Los estudios consultados no han reflejado las variaciones ocasionadas por cambios en la temperatura en pollos en regímenes abiertos.

La exposición a altas temperaturas, además ha sido reconocida como uno de los factores ambientales con mayor influencia sobre la calidad de la carne (Akşit *et al.*, 2006) ya que el estrés por calor extremo provoca una respuesta de adrenalina suficiente para afectarla. En conjunto, las diferentes tasas de proteólisis, desnaturalización de proteínas y condiciones iónicas causadas como consecuencia del estrés térmico pueden reducir la capacidad de las proteínas musculares para retener agua, incrementándose las pérdidas por goteo a pesar de su pH final relativamente alto (Bond *et al.*, 2004).

La composición química de la pechuga puede verse modificada por los cambios en la temperatura. Se ha descrito que las altas temperaturas ambientales desde los 21 días de edad hasta el momento del sacrificio, producen una disminución en el rendimiento de la canal (Yalçın *et al.*, 1997; Yunis *et al.*, 1999) y en el contenido de proteína en la pechuga (Yalçın *et al.*, 1997). Esto coincide con lo publicado por Yunianto *et al.* (1997) y Zhang *et al.* (2012), quienes encontraron que las altas temperaturas ambientales disminuyeron la síntesis de proteína muscular y aceleraron la descomposición de las proteínas. Temim *et al.* (2000) describió que el incremento de temperatura de crianza hizo que la síntesis de proteínas fuera más susceptible que la proteólisis lo que redujo la deposición de proteína muscular en los músculos gastrocnemio y pectoral. Se ha encontrado que la exposición crónica al calor afecta negativamente a la deposición de grasa y a la calidad de la carne en pollos de engorde, de una manera dependiente de la raza (Lu *et al.*, 2007). Akşit *et al.* (2006) hallaron una disminución de la humedad en la carne a medida que incrementaba la temperatura de crianza y que relacionaron con una caída en el contenido en proteína. En contraste, Bianchi *et al.* (2007) y Zhang *et al.* (2012) encontraron un incremento significativo de la humedad cuando se aumentaban las temperaturas de forma constante. Los estudios consultados sobre las variaciones en la concentración de cenizas relacionadas con variaciones en la temperatura, se han justificado con cambios en la composición química general. Así, mientras que, Akşit *et al.* (2006) no encontraron diferencias significativas para este parámetro cuando se modificaba la temperatura, Bianchi *et al.* (2007) encontraron que los pollos criados durante el invierno tuvieron un contenido en cenizas significativamente mayor que los que se habían criado durante el verano. Los motivos por el que se produce la variación en la composición química se relacionan con los cambios sobre la humedad y la proteína; sin embargo, las causas por las que se produce no han sido descritas en profundidad.

La capacidad de la temperatura de crianza para influir sobre el contenido en grasa de la carne de los animales es controvertida. Trabajos previos (Howlider *et al.*, 1987; Baziz *et al.*, 1996; Geraert *et al.*, 1996; Lu *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2012) mostraron que la exposición crónica de pollos de engorde a una temperatura ambiente alta se asocia con depósitos de grasa abdominal, subcutánea e intermuscular mejorados mientras que bajas temperaturas tienen el efecto contrario (Bogosavljević-Bošković *et al.*, 2010). Estos autores consideran que la deposición de grasa abdominal mejorada en pollos expuestos

a altas temperaturas es probablemente una regulación adaptativa; cuanto más energía se almacenaba como grasa, menor era el calor producido, mejorando la situación de estos animales ante el incremento de temperatura. Frente a esto, Bianchi *et al.* (2007) no hallaron diferencias para el contenido en grasa en función de la época de crianza de los animales. Las diferencias mostradas anteriormente entre los diferentes estudios, podrían estar relacionadas con la edad del animal, el modelo de exposición al calor realizado en el experimento (constante o cíclico) o el método utilizado para medir el índice de grasa en los distintos estudios y la raza de pollo utilizada.

Como hemos señalado, no sólo las temperaturas altas afectan al estado de los animales, sino que las temperaturas bajas parecen afectar de forma negativa a la productividad de los pollos. Las aves tienen una temperatura corporal más alta en comparación con los mamíferos, lo que los hace más vulnerables a los ambientes fríos. El aumento constante de los requisitos para el bienestar animal y el interés creciente del consumidor en alimentos de alta calidad ha dado lugar a que los sistemas de producción de pollos al aire libre como producciones de pollos de corral o ecológicas se generalicen. Sin embargo, muchos de los híbridos que se han seleccionado para este fin, aun no son capaces de resistir estas condiciones. Con frecuencia, las condiciones climáticas de temperaturas extremadamente bajas, causan grandes pérdidas económicas (Qureshi *et al.*, 2018).

Estudios anteriores han mostrado que el estrés por frío afecta de forma negativa a la salud, al bienestar y al desarrollo de los pollos de engorde; asociándose a un retraso en el crecimiento, así como un incremento de las necesidades energéticas (Scanes *et al.*, 2016) lo que implica cambios necesarios en el sistema cardiovascular para satisfacer las necesidades de energía. Ipek *et al.* (2015) describieron una caída en el peso final de los animales que habían sido criados en condiciones de estrés por frío. Por el contrario, Blahová *et al.* (2007) no hallaron variaciones entre los animales criados en estrés por frío frente a los que habían tenido condiciones ambientales óptimas.

El estudio publicado por Qreshi *et al.* (2018) mostró un mayor consumo de pienso en aquellos animales que fueron criados bajo condiciones de frío durante las primeras semanas de vida, y consecuentemente un incremento del IC. Los resultados concuerdan con Blahová *et al.* (2007) y Aksit *et al.* (2008) quienes justifican este comportamiento debido a que las aves se ven obligadas a aumentar el consumo de alimento a bajas temperaturas con el fin de equilibrar sus temperaturas corporales, (Aksit *et al.*, 2008). Al final del ensayo, no se produjo mortalidad en los grupos de tratamiento mantenidos en condiciones de temperatura normales. Sin embargo, se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el grupo que se sometió a estrés por frío y no se tomaron medidas para aliviar sus efectos. Otros autores mostraron efectos negativos sobre el sistema digestivo de los pollos cuando se sometían a estrés por frío, que repercutían en un incremento de la morbilidad y mortalidad (Zhang *et al.*, 2011)

Mientras que Bhadauria *et al.* (2014) han descrito un menor problema productivo asociado a temperaturas bajas frente a altas temperaturas, Scanesi *et al.* (2016) encontraron efectos negativos similares sobre el crecimiento y rendimiento productivo de los pollos cuando se sometían tanto a estrés por calor

como a estrés por frío. Aunque todos los autores coinciden en lo publicado por Blahová *et al.* (2007) que afirman que la temperatura ambiental es uno de los factores abióticos que pueden influir significativamente en el metabolismo y, posteriormente, en la producción de pollos de engorde.

La selección genética en pollos de engorde de tasas muy altas de crecimiento muscular y mayor eficiencia de conversión de alimentos se ha realizado a expensas de otras variables biológicamente relevantes, es decir, el desarrollo de los órganos viscerales. Yahav *et al.* (2005) sugieren que esto se debe a una mayor selección genética para el crecimiento (en un ambiente controlado) sobre la supervivencia. De modo que este aumento de las tasas de crecimiento está asociado con un aumento de la tasa de producción de calor disminuyendo la tolerancia de las aves a los cambios de temperatura (Watts *et al.*, 2011). Se plantea que los híbridos de crecimiento lento deberían tener una mayor resistencia a condiciones ambientales adversas

A pesar de que, tal y como refleja la bibliografía, las variaciones sobre la temperatura ambiental pueden modificar los parámetros productivos y de calidad de los pollos, actualmente, existe una falta de datos sobre cómo los diferentes factores ambientales que condicionan los sistemas de producción de campo abierto afectan a la productividad y crecimiento de los pollos de producción en campo abierto (Sossidou *et al.*, 2015).

5.3 Raza y Estirpe

Estudios previos han considerado que la raza es el factor crítico con mayor influencia sobre la calidad de la carne y el rendimiento productivo independientemente del sistema de producción utilizado, aunque como ya se ha visto, los factores ambientales juegan también un papel importante (Fanatico *et al.*, 2008; Cömert *et al.*, 2016). La mayoría de los autores que han centrado sus estudios en la relación entre la estirpe y su influencia sobre la calidad y producción de los pollos, coinciden en que el crecimiento del pollo y los factores derivados del mismo en sistemas de cría no intensivos dependen de factores genéticos, el tipo de híbrido utilizado, el sexo y finalmente la duración del período de engorde (Fanatico *et al.*, 2008; Blagojevic *et al.*, 2009; Bogosavljević-Boskivic *et al.*, 2012). La estirpe del ave tiene un gran impacto en la productividad de las aves de corral, modifica significativamente el peso final, así como el peso y las proporciones de los distintos componentes comestibles del pollo (Batkowska *et al.*, 2017).

El genotipo o raza se define como un grupo homogéneo, subespecífico, de animales domésticos que poseen características externas definidas e identificables que permiten distinguirlos a simple vista, de otros grupos definidos de la misma manera en la misma especie. En los pollos se habla de tres tipos de razas o genotipos en función del crecimiento; rápido, lento e intermedio. A su vez, la estirpe es una población cerrada de animal de una raza determinada, que ha sido creada por algún avicultor o empresa a base de reproducirla siempre con individuos pertenecientes a ella misma, sin introducir material extraño. Por ejemplo, dentro de las razas de crecimiento lento encontraríamos estirpes como la raza de pollos amarillos de Suqin o la Kabir, mientras en la raza de crecimiento rápido, se encontrarían estirpes como la Ross.

En Europa, los sistemas de aves de corral ecológicas usan aves con raza de crecimiento intermedio y lento, de acuerdo con la legislación vigente. Estas razas muestran un comportamiento intensivo de búsqueda de alimento (Bokkers, 2003) pasan mucho tiempo al aire libre (65-78 % del tiempo vs. 35-40 % para razas de rápido crecimiento) (Castellini *et al.*, 2002; Wallenbeck *et al.*, 2016) y tienen una mayor rusticidad para adaptarse a las condiciones de campo abierto (Dal Bosco *et al.*, 2011). Por el contrario, las distintas estirpes de crecimiento rápido seleccionadas para ser producidas en condiciones altamente controladas, parecen ser bastante inadecuadas para sistemas a aire libre porque el ambiente es menos controlado y el peso demasiado alto a medida que se incrementa de edad (Dal Bosco *et al.*, 2011).

Esta selección genética ha tendido a un incremento de la proporción de los músculos pectorales (aumentando con ello la proporción de cortes valiosos) produciendo un desplazamiento del centro de gravedad del ave y un ensanchamiento de la pechuga. Estos cambios de conformación generan desórdenes óseos, afectan a la mecánica de las patas y de las caderas y la normal locomoción de los animales (Dottavio *et al.*, 2010). Estudios publicados han mostrado un menor desarrollo de la pechuga en genotipos de crecimiento lento (Blagojevic *et al.*, 2009) y una mayor proporción de los muslos en genotipos de crecimiento lento y medio (Castellini *et al.*, 2002) frente a los de crecimiento rápido. Frente a esto, Tong *et al.* (2014) encontraron que pollos de crecimiento lento (pollos amarillos de Suqin), tuvieron un mayor desarrollo de las pechugas el cual aumentaba de forma lineal a medida que lo hacían los días libres, disminuyendo los rendimientos de las alas y muslos.

En este contexto, el uso de distintas estirpes de crecimiento lento ha reducido las lesiones esqueléticas en pollos de engorde ecológicos. Si los híbridos de crecimiento lento con un período de engorde de más de dos meses se utilizan en granjas ecológicas, los animales generalmente permanecen móviles durante todo el período de engorde, frente a los híbridos de crecimiento rápido (Castellini *et al.*, 2008), reduciendo con ello las lesiones halladas en las patas. Además, los genotipos de pollos de engorde de crecimiento lento tienen menores requerimientos de proteínas que los pollos de engorde de crecimiento rápido (Zollitsch *et al.*, 2004).

Frente a lo anteriormente expuesto, en EEUU la mayoría de los productores ecológicos utilizan el mismo genotipo de crecimiento rápido que se utiliza en sistemas industriales. Es por ello que una gran variedad de los estudios consultados (Castellini *et al.*, 2008; Fanatico *et al.*, 2008; Youssao *et al.*, 2012; Škrbić *et al.*, 2013; Wallenbeck, *et al.*, 2016) reflejan las variaciones existentes entre las distintas razas (lento-rápido) cuando se producen bajo un sistema ecológico. Estos estudios evalúan la idoneidad de un genotipo u otro en sistemas de producción ecológica. En este contexto, Castellini *et al.* (2002) ha descrito que los genotipos de crecimiento lento tienen una menor selección hacia la tasa de crecimiento y expresan comportamientos más “naturales” y mayor rusticidad en sistemas de semilibertad.

En el marco europeo encontramos que, países como Francia centran la producción alternativa de pollo en el uso de estirpes de aves de corral específicas de crecimiento lento como Sasso Label Rouge, mientras que Inglaterra tiene

otras propias de cría en libertad como las estirpes tipo Frizzle, Dwarf o Naked Neck. En esta línea, China utiliza genéticas propias como el pollo amarillo de Suqin, que se encuentran adaptados a los sistemas de producción alternativa (Dottavio *et al.*, 2010). En esta situación, encontramos que el uso de estirpes de raza pura o autóctonas también podría ser una alternativa valiosa, especialmente si están en peligro de extinción (Sundrum, 2006; Sokołowicz *et al.*, 2016). De acuerdo con esto, distintos proyectos se han orientado a la valorización de las aves de corral criadas para la producción ecológica (Yang *et al.*, 2005; Dal Bosco *et al.*, 2011; Sarsenbek *et al.*, 2013; Choo *et al.*, 2014). Desafortunadamente, tales aves mostraron un rendimiento productivo muy pobre y no son rentables en el ámbito comercial. Las posibles soluciones podrían ser la creación de cruces entre razas (crecimiento rápido x crecimiento lento) para permitir un incremento sobre el peso vivo y la eficiencia de alimentación (Dal Bosco *et al.*, 2011).

Uno de los factores limitantes para poder comparar los diferentes estudios en este tipo de producción es la falta de estandarización racial entre los distintos productores. Los estudios publicados reflejan variaciones sobre los parámetros productivos cuando la estirpe utilizada es la misma. En esta línea, Youssao *et al.*, (2012) describieron diferencias significativas entre la GMD y el IC entre distintos productores de Label-Rouge. Sin embargo, estas diferencias observadas podrían estar relacionadas con la gestión llevada a cabo en cada granja y las condiciones climáticas donde se realizó el estudio (Youssao *et al.*, 2012). En ello coinciden Škrbić *et al.* (2013), quienes describieron variaciones del crecimiento dentro de la estirpe de RedBro pudiendo ser determinante el tipo de instalación en la que habían sido criadas.

Pero la importancia de la raza no solo radica en la capacidad de adaptación a las condiciones de semilibertad que experimentan en la producción ecológica; sino también en la influencia que ejerce este factor sobre la calidad de la carne (Blagojević *et al.*, 2009). Fanatico *et al.* (2005) exponen que la capacidad del genotipo para influir en la composición química de la carne (grasa, cenizas, proteína y humedad) es limitada y en ocasiones contradictoria. Otros autores, sin embargo, afirman que el factor que induce las mayores diferencias en la composición química de los músculos es el genotipo (Gornowicz, 2008; Sokołowicz *et al.*, 2016). Castellini *et al.* (2002) publicaron menores contenidos proteicos en aves de crecimiento lento y medio frente a las aves de crecimiento rápido; mientras que Dal Bosco *et al.* (2011) no encontraron variaciones entre el contenido proteico cuando se utilizaron razas con distinto crecimiento. Meluzzi *et al.* (2009) por su parte, hallaron valores significativamente mayores de proteína para los genotipos de crecimiento rápido y lento frente a los de crecimiento intermedio. De forma similar ocurre para el contenido en humedad para la que Fanatico *et al.* (2005) y Dal Bosco *et al.* (2011) no hallaron variaciones cuando se compararon dos razas con distinto crecimiento, mientras que, Castellini *et al.* (2002) y Meluzzi *et al.* (2009) encontraron un incremento significativo de la humedad cuando se comparaba la pechuga de aves de crecimiento lento frente a las de crecimiento intermedio. Sin embargo, los motivos por los cuales se han hallado estas diferencias no han sido descritos de forma consistente. Meluzzi *et al.* (2009) hallaron un incremento del contenido en cenizas para los animales pertenecientes a las estirpes de crecimiento intermedio frente a las de crecimiento rápido y lento. En contraste, otros autores no han establecido diferencias entre las razas de crecimiento lento cuando se

les compara con estirpes de crecimiento rápido (Del Bosco *et al.*, 2011; Choo *et al.*, 2014).

En cuanto a otros parámetros de composición, Castellini *et al.* (2002) atribuyó las diferencias en la cantidad de grasa presente en el músculo al genotipo que había sido utilizado (rápido vs. lento). Los autores encontraron que las estirpes de crecimiento rápido (pollos Ross) fueron menos activas que la estirpe de crecimiento lento (pollos Kabir), obteniéndose una mayor cantidad de grasa total en el genotipo de crecimiento rápido. En consonancia a estos resultados, otros autores (Skrbic *et al.*, 2007; Meluzzi *et al.*, 2009; Sirri *et al.*, 2010) describieron mayor contenido de lípidos (tanto en la pechuga como en la carne del muslo) en las aves de crecimiento rápido. Estos autores consideran que la selección genética de estas aves ha sido encaminada para alcanzar su peso vivo en la edad máxima de 56 a 60 días, siendo por tanto la deposición de grasa más rápida en el genotipo de crecimiento rápido. Frente a esto, Mikulski *et al.* (2011) y Pietrzak *et al.* (2006) hallaron una mayor proporción de grasa en la pechuga en animales de genotipo de crecimiento lento. Estos autores consideran que el mayor contenido de grasa abdominal en broilers de crecimiento lento se debe a que las dietas suministradas probablemente contenían demasiada energía y proteína, en relación con los requerimientos nutricionales de las aves (Mikulski *et al.*, 2011). En contraste, Fanatico *et al.* (2005) no hallaron modificaciones para el contenido en grasa en función del crecimiento de la raza. Quizá las variaciones halladas podrían estar condicionados no solo por el genotipo, sino también por la edad del pollo. Se han hallado variaciones en la cantidad de grasa presente en la carne en función de los días de vida; esto se debe a la existencia de dos etapas fundamentales en las que se produce un incremento de la cantidad de grasa (Liu *et al.*, 2017).

La principal limitación que se encuentra actualmente sobre los estudios publicados, es que se basan de forma fundamental en las ventajas de la elección de híbridos de crecimiento lento-medio en sistemas de producción ecológica frente a la elección de estirpes de crecimiento rápido (Castellini *et al.*, 2002; Fanatico *et al.*, 2005; Meluzzi *et al.*, 2009; Cömert *et al.*, 2016; Da Silva *et al.*, 2017). Sin embargo, los estudios disponibles que muestren variaciones entre las distintas razas de genotipo de crecimiento lento en condiciones de producción ecológica son limitados.

5.3.1 Estirpes en producción ecológica

Dentro de la raza de crecimiento lento, existe una gran variedad de estirpes disponibles, a menudo son híbridos que pueden adaptarse a las condiciones de producción ecológica. La elección de una u otra depende de forma fundamental de las preferencias del productor, del asesoramiento técnico, y de la facilidad de venta de ese tipo de producto en el mercado. Como se ha citado anteriormente, la mayor parte de los productores de pollo ecológico utilizan estirpes de crecimiento intermedio, como los híbridos RedBro y ColorYield.

Las gallinas RedBro son originarias de Inglaterra, aunque en la actualidad, los centros más avanzados de cría se encuentran en Francia y EE.UU. Se trata de un híbrido de crecimiento intermedio-lento (REDJA Ki), que proceden del cruce entre el macho RedBro y la hembra JA57Ki. Carecen del gen Na (nacked)

por lo que presentan plumas en el cuello. Estos animales tienen un plumaje rojizo-marrón oscuro fuertemente marcado en el extremo de las alas (Figura II.VIII). Bajo las plumas tienen una tonalidad salmón, mientras que la piel al igual que las patas son de color amarillento. (Hubbard Premium®).



Figura II.VIII. Fotografía de ejemplares de la estirpe RedBro

Esta estirpe ha sido objeto de estudio para diferentes publicaciones (Katogianni *et al.*, 2008; Blagojević *et al.*, 2009; Škrbić *et al.*, 2013). La Tabla II.IV muestra los pesos de estos animales a intervalos de 7 días, el índice de conversión (IC) y el rendimiento de la canal en función de la edad de sacrificio, criados en condiciones industriales cuando se les administra una dieta de 2.900 kcal/kg. Estos animales presentan un rendimiento de la pechuga sobre el peso vivo (2,2-2,4 kg) de un 14,3 %.

Tabla II. IV. Parámetros productivos de la estirpe RedBro. Peso (kg), IC, Rendimiento de la canal (%). Fuente: Hubbard Premium®

Alimentación tipo (2900 Kcal/Kg)			
Edad (d)	Peso vivo (kg)	IC	Rendimiento de la canal
14	0,296	1,34	
21	0,562	1,46	
28	0,869	1,63	
35	1,199	1,76	64,30
42	1,541	1,88	65,60
49	1,883	2,00	67,00
56	2,21	2,15	68,10
63	2,516	2,33	69,10
70	2,804	2,53	69,90
77	3,079	2,72	70,50
84	3,341	2,92	70,90
91	3,59	3,11	41,20
98	3,827	3,29	71,4

La estirpe ColorYield procede del cruce habitual de la reproductora JA57Ki con el macho reproductor New ColorYield (CY57Ki); obteniéndose un animal con crecimiento intermedio-lento. Los animales presentan un color de plumaje 50% marrón y 50 % marrón oscuro. Bajo las plumas tienen una tonalidad blanquecina, mientras que el color de la piel es amarillo al igual que el color de las patas. El cuello presenta plumaje de color negro. El extremo de las alas presenta una tonalidad blanquecina que se comienza a diferenciar en los primeros días de vida de los pollitos (Figura II.IX).



Figura II.IX. Fotografía de ejemplar de la estirpe Coloryield

Las características productivas de estos animales han sido registradas únicamente para producciones industriales por lo que se han basado en una alimentación tipo de 2.900 Kcal/kg con condiciones de humedad y temperatura regulada y sin acceso al exterior (Fuente: Hubbard Premium®). En la Tabla II.V se muestran los datos referentes al peso, IC y rendimiento de la canal criados en sistemas de producción industrial de igual forma que se mostraba para el híbrido de la estirpe RedBro. Estos animales presentan un rendimiento de la pechuga sobre el peso vivo (2,2-2,4 kg) de un 14,2%, muy similar al presentado para la estirpe ColorYield.

Tabla II.V. Parámetros productivos de la estirpe RedBro. Peso (kg), IC, Rendimiento de la canal (%). Fuente: Hubbard Premium®

Alimentación tipo (2900 Kcal/kg)			
Edad (d)	Peso vivo (kg)	IC	Rendimiento de la canal
14	0,311	1,32	
21	0,585	1,44	
28	0,896	1,61	
35	1,225	1,74	63,3
42	1,561	1,86	64,9
49	1,889	1,99	66,2
56	2,196	2,14	67,3
63	2,487	2,33	68,1
70	2,771	2,53	68,8
77	3,043	2,73	69,3
84	3,303	2,93	69,6
91	3,549	3,12	69,8
98	3,783	3,31	69,9

Hasta la fecha, no se han encontrado referencias sobre el rendimiento productivo y de calidad de la carne de la estirpe ColorYield criada en sistemas de producción ecológica. Sin embargo, a pesar de que los estudios publicados para la estirpe RedBro son superiores a los mostrados para la estirpe ColorYield., la información disponible es escasa y se requiere un mayor conocimiento sobre su desarrollo productivo, fundamentalmente, en sistemas de producción ecológica.

6. CALIDAD DE LA CARNE DE POLLO

La carne procedente de pollo se caracteriza por un buen perfil nutricional. Su adecuado contenido en proteínas, vitaminas y minerales de alto valor biológico asociado con un bajo contenido de grasa, constituida fundamentalmente por ácidos grasos insaturados, permite que estas carnes se incorporen óptimamente a la dieta en todas las edades (Marangoni *et al.*, 2015). Estudios epidemiológicos apoyan este punto de vista, mostrando que un consumo adecuado de carne de pollo puede facilitar el control del peso corporal, especialmente debido a su alto contenido en proteínas, con un efecto neutro o positivo sobre el riesgo de desarrollar las principales enfermedades degenerativas típicas de nuestra sociedad, es decir, enfermedades cardiovasculares, diabetes y cáncer (Marangoni *et al.*, 2015).

Son muchas y variadas las definiciones que han sido utilizadas para definir el término de calidad. La calidad de un producto, en sentido genérico, se puede definir, como el conjunto de características que le confieren una mayor aceptación y un mayor precio en el mercado (Bogosavljević-Bošković *et al.*, 2010). Dentro del contexto de calidad de la carne se debe considerar los distintos ámbitos que comprende este término (Figura II.X).

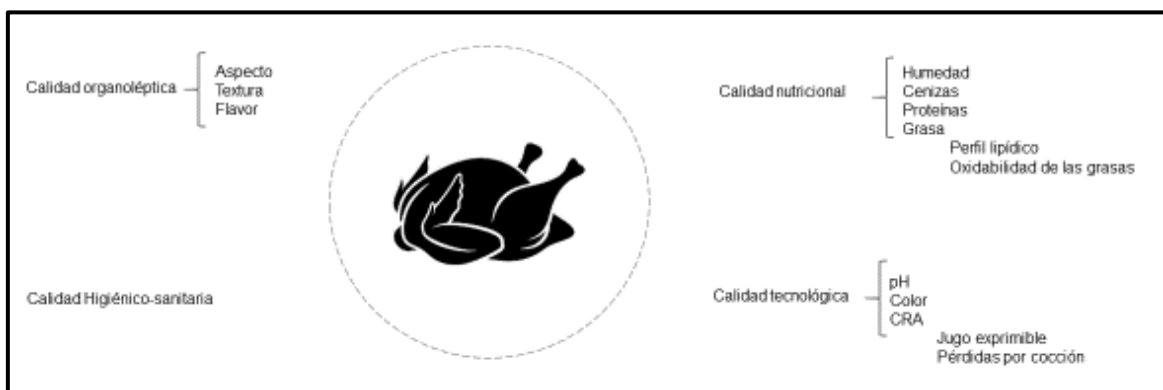


Figura II.X. Calidad de la carne. Conceptos que engloba el término

La satisfacción con el producto viene determinada por las cualidades que percibe el consumidor. Se incluye aquí el color, textura y jugosidad, así como el sabor, que se asocia con los aromas liberados en la boca cuando el producto se consume y es lo que se conoce como *calidad organoléptica*. Así mismo, la satisfacción con el producto también es impulsada por las *cualidades tecnológicas* que reflejan la capacidad del producto para ser tratado o procesado, por ejemplo, evitar pérdidas de agua durante su cocción o en el congelado (Lebret *et al.*, 2015). Las *cualidades nutricionales* dependen principalmente del valor nutricional de las grasas, carbohidratos y proteínas que componen el alimento. Una carne que es rica en proteínas con una alta proporción de aminoácidos esenciales y ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) es considerada óptima desde el punto de vista de la calidad nutricional (Lebret *et al.*, 2015). Por último, las *cualidades higiénicas* reflejan la capacidad del producto para ser consumido con seguridad. Están relacionados principalmente con la carga

bacteriana del producto y la presencia de residuos químicos tales como herbicidas o pesticidas y otros contaminantes ambientales en el producto.

Durante los últimos años se ha producido un incremento en el consumo de productos procedentes de sistemas ecológicos y, dentro de estos, el pollo producido en sistemas ecológicos ha visto mejorado su consumo (Castellini *et al.*, 2008). En una encuesta realizada por Latter-Dubois (2000), las principales razones por las que los consumidores canadienses compraron aves ecológicas fueron por "mejor sabor" (34,16 %), "criadas sin medicamentos/ hormonas" (27,23 %), "grasa" (15,84 %), "métodos más humanos" (12,87 %) y "mayor proteína" (9,90 %).

La calidad de la carne, como ya se ha descrito en apartados previos, se encuentra determinada por factores biológicos o internos (como la raza, edad o el sexo) y por otros externos como el manejo, las condiciones ambientales o la nutrición (Andersen *et al.*, 2005; Fanatico *et al.*, 2005; Sales, 2014). Entre ellos, se van a destacar los siguientes:

La **nutrición** que depende de la elección de las materias primas utilizadas en la formulación de los piensos, la calidad de las mismas, y los distintos valores de los nutrientes tenidos en cuenta para la formulación de las raciones (Bogosavljević-Bošković *et al.*, 2010) y que puede tener un importante efecto sobre la composición química de la carne de estos animales.

De igual manera la relación existente entre el **entorno** y el animal ha sido considerada como uno de los factores con mayor influencia sobre el sistema productivo. También sobre la calidad de la carne (Estrada *et al.*, 2005).

Por último, **la raza y la estirpe** del animal han sido descritas como uno de los factores que condiciona no solo aspectos productivos, sino también de calidad de la carne (Castellini *et al.*, 2002; Fanatico *et al.*, 2005; Meluzzi *et al.*, 2009; Cömert *et al.*, 2016; Da Silva *et al.*, 2017).

A continuación, se va a revisar la influencia de estos tres factores sobre parámetros físico-químicos de la carne que tienen importancia desde el punto de vista de la saludabilidad de la carne, como es el perfil de ácidos grasos, para la calidad tecnológica y para la calidad organoléptica de la misma ya que estos aspectos van a influir en la aceptabilidad del producto.

En comparación con el pollo de engorde estándar, la calidad de la carne de las aves de criadas en sistemas al aire libre varía mucho. Esto se debe a que los productores utilizan una amplia gama de edades, tipos de razas, ingredientes de alimentos y sistemas de cría distintos. El principal problema hallado en los estudios publicados es que se ha considerado el sistema de producción de forma global por lo tanto los efectos de factores únicos, como el sistema de crianza, la dieta o el tipo genético, no se pueden separar con precisión y así determinar el efecto real de estos sobre el producto. A continuación, se describe la capacidad de estos tres factores para influir sobre cambios en la composición de la carne.

6.1 Características nutricionales de la carne de ave

En este apartado se van a considerar otros parámetros de composición química que tienen especial relevancia para la saludabilidad de la carne como es el perfil de ácidos grasos y que no han sido revisadas en capítulos anteriores.

6.1.1 Perfil de ácidos grasos

La carne es una fuente importante de lípidos en la dieta humana y los consumidores han aumentado su interés por la composición grasa de los alimentos ya que las pautas nutricionales recomiendan una reducción de la ingesta total de grasa con una disminución concomitante de ácidos grasos saturados (SFA) y un aumento de los PUFA para evitar trastornos de salud (Wood *et al.*, 2004; Sierra *et al.*, 2008). Desde el punto de vista nutricional, la composición de la grasa avícola es favorable: incluye cantidades significativas de ácidos grasos monoinsaturados (MUFA), en comparación con bovinos, ovinos, o la carne de cerdo; presenta también cantidades sustanciales de PUFA especialmente el ácido linoleico omega-6 (18:2 n-6) y el ácido araquidónico (20:4 n-6), que se encuentran principalmente en la piel. Sin embargo, un alto contenido de PUFA, aunque asociado con propiedades de salud superiores, a menudo se asocia con una mayor incidencia de oxidación y rancidez que afecta negativamente la vida útil del producto (Wood *et al.*, 2004).

La composición química y, en particular, el perfil de ácidos grasos de la carne de pollo ecológica no está bien caracterizada y varía considerablemente ya que se utilizan una amplia gama de edades, tipos de razas e ingredientes de piensos (Sirri *et al.*, 2010).

La cría de pollos con y sin acceso al campo, parece tener un efecto significativo en el perfil de ácidos grasos en la grasa de los músculos de la pechuga. Los resultados hallados por los autores Castellini *et al.* (2002), y Michalczyk *et al.* (2014) demostraron que, los perfiles de ácidos grasos de las pechugas de pollo procedente de sistemas de producción ecológica tuvieron un porcentaje significativamente mayor de ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) y menor de PUFA. El estudio también mostró una relación n-6/n-3 ligeramente menor en el grupo de aves en semilibertad, sin embargo, no se confirmó estadísticamente. Frente a esto Žlender *et al.* (2000) encontraron una relación inversa, esto es, un incremento de los PUFA frente a los MUFA. Estos autores atribuyen el aumento de la proporción de los PUFA más que a la disposición en semilibertad de los animales, al perfil lipídico de la dieta que reciben. El ácido linoleico (C18:2) presente en la nutrición de los pollos ecológicos (pastos) causa la disminución del contenido en MUFA, predominantemente el ácido oleico (C18:1) y el aumento del ácido α -linolénico (C18:3) (siendo un 11 % mayor que en el caso de los pollos criados en sistemas intensivos), y en menor medida, del ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA). Además, la cantidad de ácidos grasos n-6 y n-3 en la crianza en libertad crece linealmente, en primer lugar, el ácido linoleico y luego el ácido linolénico (Žlender *et al.*, 2000). Sin embargo, también se ha demostrado que el incremento del grado de insaturación de la carne produce una disminución de la calidad organoléptica (Sanz *et al.*, 1999).

Dal Bosco *et al.* (2012) describieron que el perfil lipídico se encuentra determinado en gran medida por la raza utilizada. Ponte *et al.* (2008) evaluaron la influencia de razas de crecimiento lento y rápido sobre el perfil de ácidos grasos. En ambos casos, el ácido graso predominante fue el palmítico (C16:0) seguido del ácido oleico. Sin embargo, estos ácidos presentaron un porcentaje con respecto al total mayor en los pollos procedentes de la raza de crecimiento lento. En ambas carnes predomina el precursor de la familia de ácidos grasos n-6 (ácido linoleico) en relación con el precursor de la familia n-3 (ácido α -linolénico), aunque ambos PUFA estaban presentes en porcentajes mayores en la carne del genotipo de rápido crecimiento. Aunque el EPA y el ácido eicosatrienoico (C20:3 n-3) fueron predominantes en la carne de pollos de crecimiento rápido, DHA fue más abundante en la carne de aves de crecimiento lento. En relación con los ácidos grasos n-6 de cadena larga, el ácido araquidónico (C20:4 n-6), predominó en la carne del genotipo de crecimiento más lento, mientras que el ácido docosatetraenoico (C22:4 n-6) fue más abundante en la carne de pechuga del genotipo de crecimiento rápido. Los contenidos de SFA y MUFA de la carne de los pollos de crecimiento lento fueron mayores en comparación con la carne del genotipo de crecimiento rápido. Meluzzi *et al.* (2009) describió que la carne de pechuga procedente de estirpes de crecimiento lento tuvo el valor más alto de PUFA n-6 y n-3 y el valor más bajo de MUFA, así como la relación más baja de PUFA n-6/n-3. Este estudio reflejó que las estirpes de crecimiento medio mostraron siempre valores intermedios. Frente a esto, ni Castellini *et al.* (2005) ni Cömert *et al.* (2016) encontraron variaciones sobre de los principales ácidos grasos de pechugas y muslos en función del genotipo.

Los valores obtenidos en los estudios indican que los cambios sobre las estrategias dietéticas que reciben los animales podrían modificar el perfil de ácidos grasos de la carne jugando un papel más importante que la estirpe utilizada (Castellini *et al.*, 2006). Por ejemplo, la inclusión de semillas de altramuza libre de factores antinutritivos como alternativa al uso de la soja en las dietas de pollos de engorde, ha mejorado la calidad nutricional de la grasa intramuscular en la pechuga, lo que resulta en una disminución del porcentaje de SFA (en particular: C14:0, C16:0, C18:0) y aumenta la proporción de PUFA n-3 (en particular: C18:3 n-3, C20:5 n-3 y C22:5 n-3) y n-6 (en particular: C18:2 n-6). La relación n-6/n-3 se redujo y se registró una importante caída del ácido esteárico (C18:0), todo ello hace de esta carne más favorable para la nutrición humana. El uso de altramuza blanca en la dieta de los pollos ha mostrado una correlación positiva entre el nivel de ácido α -linolénico (ALA) en pollos de engorde y la concentración de EPA y DPA en grasa intramuscular e intrabdominal (Merlita *et al.*, 2015). Estudios similares han mostrado que la inclusión de las algas en la dieta de los animales causa una reducción en los niveles de triglicéridos, lipoproteínas de alta densidad (HDL), lipoproteína de baja densidad (LDL), creatinina, aspartato aminotransferasa (AST) y alanina transaminasa (ALT) (Mahmoud *et al.*, 2017). Moradi Kor *et al.* (2016) demostraron que las microalgas (*Chlorella*) a altos niveles de inclusión tuvieron efectos positivos sobre los contenidos séricos de triglicéridos, colesterol, LDL y el contenido sérico de HDL. Parece que el alga *Chlorella* tenía efectos hipolipidémicos y estaba relacionada con el metabolismo de los lípidos.

Frente a los cambios sobre las estrategias nutricionales aparentemente ventajosas para el perfil lipídico, una preocupación reiterada de los estudios en peces y aves de corral es que la suplementación con insectos (concretamente LMS) muestra un efecto contradictorio sobre el perfil de ácidos grasos. Mientras que Sun *et al.* (2012a), publicaron que la inclusión de saltamontes en la dieta de pollos no afectó a las concentraciones de SFA, araquidónico, DHA, el ratio n-6/n-3 y el contenido total de n-6 y de n-3, otros resultados mostraron que la inclusión de insectos en la dieta de los pollos a menudo modificó negativamente los perfiles de ácidos grasos de los productos cárnicos resultantes, disminuyendo los PUFA y aumentando las SFA y MUFA (Cullere *et al.*, 2018; Schiavone *et al.*, 2017). Schiavone *et al.* (2017) observó que a medida que aumenta la proporción de incorporación de LMS en la dieta de los animales estas diferencias eran más acusadas. Este problema no es exclusivo de LMS, ya que las larvas de otras especies como el escarabajo también son ricas en grasas monoinsaturadas (Ghosh *et al.*, 2017), si bien las LMS tiene porcentajes de PUFA mucho más bajos que otros insectos como los gusanos de mosca doméstica, gusanos de la harina y grillos adultos (Makkar *et al.*, 2014). En LMS, este problema podría superarse mediante la variación de la fuente de ácidos grasos utilizados como sustratos para la alimentación de las LMS (Barroso *et al.*, 2017) por ejemplo mediante el uso de despojos de pescado (St-Hilaire *et al.*, 2007). Sin embargo, requerir que se usen ciertos sustratos minimizaría la ventaja que LMS tiene sobre otros insectos.

Como se observa, los resultados derivados de la inclusión de insectos en la dieta de pollos y la modificación ejercida sobre los perfiles de ácidos grasos es muy variada y no tiene unos resultados concluyentes, probablemente la variedad de sustratos utilizados y las propias especies de insectos incluidas en las dietas sean las causantes de las variaciones halladas. Es por ello por lo que se requieren estudios posteriores que permitan evaluar la influencia real de esta inclusión.

6.1.2 Oxidabilidad de las grasas

Como se ha citado anteriormente, la mayor proporción de PUFA presentes en la carne de ave se asocia con un incremento de la oxidación y rancidez de estos productos (Wood *et al.*, 2004). Los rápidos cambios oxidativos de los lípidos y los productos de oxidación resultantes pueden deteriorar la calidad de la carne de ave y los productos cárnicos acortando considerablemente su vida útil (Michalczuk *et al.*, 2014). Además del deterioro del sabor y el aroma, la oxidación de los ácidos grasos tiene un efecto adverso sobre el color, la textura y el valor nutritivo de la carne

Castellini *et al.* (2002) observaron un valor de ácido tiobarbitúrico (TBA) más alto en pollos criados en sistemas de producción ecológica frente a los de producción industrial, resultados similares fueron los obtenidos por Lawlor *et al.* (2003). Estos autores atribuyen las diferencias halladas, más que a las condiciones de ausencia de estrés como consecuencia del acceso al exterior, a la suplementación de la dieta de las aves con forraje verde. El forraje constituye una fuente de PUFA en general, y de ácido linolénico en particular que, a su vez, conduce a concentraciones crecientes de PUFA en la carne, aumentando así su susceptibilidad a la oxidación (Michalczuk *et al.*, 2014). La menor estabilidad

lipídica de la carne de los animales ecológicos puede deberse al mayor contenido de iones metálicos (hierro total y hemo) que cataliza la peroxidación. Se ha propuesto que estas variaciones en la concentración de los iones parecen estar relacionadas con el ejercicio físico que puede aumentar la cantidad de catión hierro, particularmente en los músculos más oxidativos asociado también a un mayor grado de insaturación de los lípidos intramusculares (Castellini *et al.*, 2002). Los altos niveles de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) no solo limitan la vida propia del producto ecológico, sino que también tienen una repercusión negativa en la evaluación sensorial (Castellini *et al.*, 2002).

La tendencia de la estabilidad oxidativa de la carne durante el almacenamiento depende no solo del estado oxidativo inicial de la carne, sino también del genotipo del animal. Una actividad cinética más alta induce una peroxidación lipídica más alta y esto es particularmente evidente en la carne de razas de crecimiento rápido. El mejor estado oxidativo de la carne de genotipos de crecimiento lento podría deberse a un nivel de lípidos más bajo, la adaptación de las fibras musculares a la actividad física y también a una mayor ingesta de compuestos con actividad antioxidante. Teniendo en cuenta el peculiar estado oxidativo de las aves ecológicas, se deben aplicar diferentes estrategias, como evitar el procesamiento innecesario de canales, reducir el tiempo de almacenamiento y proporcionar compuestos naturales antioxidantes (López-Bote *et al.*, 1998).

Los estudios consultados sobre el efecto de la temperatura en la calidad de la carne no han mostrado resultados acerca de las variaciones en la oxidabilidad de las grasas.

Los resultados publicados sobre el efecto del reemplazamiento de la fuente proteica en la concentración de Malondialdehído (MDA), que es el compuesto resultante de la oxidación lipídica, no son del todo concluyentes. De todos los estudios consultados, únicamente Cullere *et al.* (2019) evaluaron este parámetro. Estos autores, no mostraron diferencias significativas para la concentración de MDA entre los grupos que habían recibido insectos en la dieta frente al control.

6.2 Características tecnológicas

6.2.1 pH

El valor del pH es uno de los parámetros físicos más importantes para determinar el perfil cualitativo de la carne y se utiliza como un predictor (Fletcher, 1999; Van Laack *et al.*, 2000) de las cualidades tecnológicas y sensoriales de la carne (El Rammouz *et al.*, 2004). Esta relación con las diferentes cualidades se debe a que el pH influye sobre la capacidad de retención de agua, el color, la textura, y la vida útil (Husak *et al.*, 2008).

El valor normal de pH del pollo en vivo se sitúa en valores neutros (de 7,0 a 7,2). Tras el sacrificio el pH desciende durante las 3-4 primeras horas hasta cifras de 6,15-6,40 en la pechuga y muslo respectivamente; llegando a valores finales al cabo de 24 horas post-mortem de 5,70 (pechuga) y 5,90 (contra muslo) (Moreno Temprado, 2005).

Experimentos previos han encontrado valores de pH en estirpes de crecimiento lento inferiores a los observados en estirpes de crecimiento rápido que son las que se utilizan en producción industrial (Fanatico *et al.*, 2007). Este hecho se ha relacionado diciendo que el mayor peso corporal que tienen las aves de crecimiento lento se asocia con un aumento del metabolismo de la energía glucolítica y con una mayor acidificación final de la carne (Fanatico *et al.*, 2007). El menor pH de los pollos de crecimiento lento podría deberse a un menor consumo de glucógeno como consecuencia de la reducción de la sensibilidad al estrés (Castellini *et al.*, 2002; Wójcik *et al.*, 2018). Estos autores describieron que el incremento de la actividad muscular conlleva una adaptación del metabolismo muscular y a una mayor capacidad aeróbica reduciendo el consumo de glucógeno y traduciéndose en un menor pH. Frente a esto, Puchala *et al.* (2015) y Michalczuk *et al.* (2014) informaron que no hay efecto del sistema de crianza sobre el pH. Fernández *et al.* (2001) observaron claras diferencias en el contenido de glucógeno en diferentes músculos de pavo cuando se analizaban razas diferentes de crecimiento lento y rápido, sin embargo, no se detectaron diferencias en el pH final. Esto fue confirmado por la falta de diferencias significativas ($p > 0,05$) en las características de calidad de la carne, como la pérdida por goteo y la textura, en las tres líneas probadas

En relación a la temperatura se ha descrito que temperaturas extremas que provocan un estrés sobre los animales causan un incremento del metabolismo glicolítico, ocasionando un aumento de la actividad oxidativa y de la producción de radicales libres en el músculo, lo que altera el estado ácido-base y provocan una caída sobre el pH de la carne (Holm *et al.*, 1997; Sandercock *et al.*, 2001; Akşit *et al.*, 2006; Bianchi *et al.*, 2007; Feng *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2012). Sin embargo, se han alcanzado resultados contradictorios en los estudios. Holm *et al.* (1997) observaron que los pollos de engorde mantenidos a 29 °C tenían un pH final inferior al de los pollos de engorde mantenidos a 7 y 18 °C. Al igual que Zhang *et al.* (2012) quienes además a su vez observaron un pH menor en la pechuga que en el muslo; lo que podría explicarse por concentraciones más altas de lactato en el músculo de la pechuga. Frente a esto, los estudios publicados Petracchi *et al.* (2001) informaron que el efecto de la temperatura sobre los niveles de pH no siempre fue consistente y por tanto no pueden considerarse con un factor determinante.

Existen controversias con respecto a si el pH de la carne puede verse afectado por la alimentación recibida de los animales. Schiavone *et al.* (2017) no hallaron modificaciones sobre el pH de la pechuga cuando se remplazaba parcial o totalmente la harina de soja por LMS. Frente a esto, Cullere *et al.* (2016) encontraron que el pH disminuía a medida que se incrementaba la inclusión de LMS en la dieta, resultados similares a los obtenidos por Bovera *et al.* (2015) al incluir TM en la dieta de pollos de engorde

6.2.2 Capacidad de retención del agua

La capacidad de retención del agua (CRA) se define como la capacidad de la proteína para mantener el agua en la carne. La disminución de la CRA provoca problemas relacionados con el aumento de los exudados durante los procesos de cocción y almacenamiento en frío. Así mismo, la elaboración de productos cárnicos procedentes de carnes con CRA bajo dificulta su

procesamiento obteniendo productos que carecen de jugosidad (Laudadio *et al.*, 2010; Listrat *et al.*, 2016).

La capacidad de retención de agua está fuertemente influenciada por la velocidad y el grado de disminución del pH. Una caída rápida del pH combinada con una temperatura muscular elevada (por ejemplo, a partir de animales que han sufrido estrés o han realizado actividad física intensa antes del sacrificio) provoca la desnaturalización de las proteínas musculares, reduciendo la capacidad de retención de agua. Una gran caída del pH reduce la carga eléctrica neta de las proteínas, lo que también reduce la capacidad de retención de agua (Huff-Lonergan *et al.*, 2005).

La falta de significación en las diferencias de la CRA muestra que tanto la estirpe como el sistema de crianza tienen una influencia limitada sobre este parámetro, de forma similar a lo que ocurre con el pH. Ni Puchała *et al.* (2015) ni Michalczyk *et al.* (2014) encontraron algún efecto de la raza y el sistema de crianza en la CRA de los músculos de las pechugas y patas; mientras que Castellini *et al.* (2002), Fanatico *et al.* (2005) y Mikulski *et al.* (2011) notaron una disminución en la CRA en los músculos de las patas de los pollos de engorde que tienen acceso al corral. Fanatico *et al.* (2005) describieron que las variaciones de CRA se encuentran estrechamente relacionadas tanto con el sistema de crianza como con el genotipo de los animales.

Por otro lado, se encontró que temperaturas elevadas de forma aguda y crónica causan pobres propiedades de la CRA (Zhang *et al.*, 2012). El estrés calórico provocó un rigor mortis rápido, lo que resultó en una pronunciada desnaturalización de las proteínas (Channon *et al.*, 2000; Deng *et al.*, 2002) y como resultado una CRA pobre, que se refleja en una mayor pérdida por goteo y pérdida de cocción. Hubo una correlación positiva entre la pérdida de cocción y la pérdida por goteo (Woelfel *et al.*, 2002). Los pollos de engorde en el grupo de alta temperatura presentan mayores pérdidas de cocción en la carne que los del grupo control (Sandercock *et al.*, 2001; Zhang *et al.*, 2012). Estos hallazgos fueron respaldados por el menor valor de pH.

Parece ser que la influencia de la fuente proteica sobre la capacidad para modificar la CRA es limitada. Distintos autores (Bovera *et al.*, 2015; Schiavone *et al.*, 2017) no hallaron modificaciones sobre la capacidad de retención de agua ni en las pérdidas por cocción de la pechuga cuando se remplazaba parcial o totalmente la harina de soja por proteína de insectos. Leiber *et al.* (2017) encontraron menor CRA en aquellos animales que recibieron una dieta con guisantes e insectos frente a los que recibieron la mezcla de guisantes y alfalfa. Los autores describen que el motivo de las diferencias no es claro; ya que en sí no parece estar relacionado con ninguna dieta experimental.

6.3 Características organolépticas

6.3.1 Color de la carne

El color de la carne es uno de los indicadores de calidad, y un factor de gran importancia sobre la decisión final de compra, ya que se relaciona con

frescura y salud (Laudadio *et al.*, 2010). Para los productos procedentes del pollo, el color se evalúa tanto sobre la piel, como la carne y el hueso:

- El color de la piel tiene una mayor influencia en el caso de la comercialización de aves o partes frescas enteras.
- El color de la carne es lo más importante tanto para la selección de carnes crudas deshuesadas, como para la evaluación final de muchos productos cocidos. La apariencia rosada o roja de la carne de pollo cocida está generalmente asociado con una cocción insuficiente e indeseable por el consumidor.
- La presencia de huesos de tonalidades oscuras o negras también se considera como un defecto en los productos completamente cocinados. El oscurecimiento óseo se encuentra asociado con productos congelados antes de cocinar.
- Otros defectos visuales se encuentran asociados con la presencia de hematomas, hemorragias, acumulación de sangre, que pueden ocasionar cambios sobre la coloración de la carne (Fletcher *et al.*, 2002).

La composición de las fibras musculares influye en el color de la carne a través de la cantidad, el estado químico de la mioglobina y la biodisponibilidad del oxígeno. El alto contenido de mioglobina en las fibras de tipo I y IIA resulta en una relación positiva entre la proporción de estas fibras y la intensidad del color rojo. Por el contrario, una alta proporción de fibras glicolíticas es característica de la carne blanca, tal como se encuentra en pollos y cerdos. (Cori *et al.*, 2014). Sin embargo, la proporción de fibras blancas con respecto a las fibras rojas en una misma población de pollos puede ser diferente aún evaluando el mismo músculo (Husak *et al.*, 2008)

La crianza al aire libre puede tener efectos divergentes sobre el color de la carne y los niveles del pigmento hemo, ya que algunos autores no encontraron influencia del ejercicio (Enfalt *et al.*, 1993), mientras que, en estudios más recientes, han considerado que el aumento del espacio y el pastoreo induce un color de carne más oscuro sobre animales de producción ecológica (Nuernberg *et al.*, 2005). Castellini *et al.* (2002) describieron que los pollos de corral procedentes de sistemas de explotación extensivos, como la producción ecológica o campera, presentan un color rojizo en la totalidad de la canal frente a pollos de producción industrial cuya coloración es más blanca. Es probable que el color rojizo de los animales que no se encuentran estabulados pueda deberse al incremento de mioglobina en el músculo como consecuencia de una mayor actividad física y un mayor confort de los corrales. (Fanatico *et al.*, 2009).

Se han descrito diferentes variaciones en el color según la raza utilizada. Las razas de crecimiento lento muestran generalmente carne más roja (a^*) y más oscura en comparación con las aves de crecimiento rápido (Le Bihan-Duval *et al.*, 1999, Berri *et al.*, 2001). Esto probablemente se deba a una mayor acumulación de mioglobina en los músculos de animales de crecimiento lento asociado a un incremento en la edad de sacrificio (Gordon *et al.*, 2002). Frente a esto, Fanatico *et al.* (2005) hallaron valores más bajos de enrojecimiento (a^*) en las razas de crecimiento lento. Lonergan *et al.*, (2003) han atribuido las

diferencias existentes en el enrojecimiento entre los genotipos a los distintos tipos de fibra musculares presentes.

En cuanto a las condiciones ambientales; McCurdy *et al.* (1996) informaron que el valor medio de luminosidad (L^*) en el músculo de la pechuga de los pavos fue más alto durante el verano, al igual que lo obtenido por Lu *et al.* (2007), Feng *et al.* (2008) y Zhang *et al.* (2012), que mostraron que el estrés térmico crónico aumentaba la luminosidad del músculo. En consonancia, Petracci *et al.* (2004) observaron mayor L^* y menor enrojecimiento (a^*) y color amarillo (b^*) para los filetes de músculo de la pechuga de pollos de engorde criados en el verano que los criados en invierno. Los resultados de la disminución del valor a^* indicaron que hay más mioglobina oxidada en el músculo de las aves expuestas al calor (Mancini *et al.*, 2005). Sin embargo, Sanderock *et al.* (2001) no encontraron variaciones en el color cuando se modificaban las condiciones de temperatura.

Con respecto a la alimentación, Leiber *et al.* (2017) han descrito que las modificaciones en el origen de la proteína de la dieta de los pollos no modifican el color de la carne, ni la luminosidad (L^*) ni el color amarillo (b^*) de pechuga. Sin embargo, estos autores describieron un color rojizo más intenso en el caso de los pollos que recibieron alimentación con una mezcla de guisantes y alfalfa como fuente de proteína con respecto al control. Esto puede deberse a la presencia de betacarotenos u otros pigmentos que contiene la alfalfa y que pueden modificar el color final de la carne (Smith *et al.*, 2002). A pesar de ello, la variación hallada no fue muy grande y se encontró dentro de los valores de a^* registrados para la carne de pechuga de pollo por otros autores (Laudadio *et al.*, 2010; Dotas *et al.*, 2014). Diversos autores (Fanatico *et al.*, 2005; Michalczuk *et al.*, 2014; Puchala *et al.*, 2015), describieron también cambios sobre la coloración de la pechuga como consecuencia del acceso a los pastos de los pollos criados en regímenes de semilibertad. El consumo de vegetación rica en xantofilas, provocaba un depósito de los pigmentos sobre la grasa subcutánea aumentando la intensidad del color de las canales, haciéndolas más amarillas (b^*). Cullere *et al.* (2016) apuntan que el índice de enrojecimiento (a^*) se ve significativamente afectado por el tratamiento dietético, mostrando valores más altos para aquellos que tienen menor porcentaje de inclusión de insectos y más bajos para los grupos con mayor inclusión de insectos, mostrando el control valores intermedios para la pechuga. En contraste, Schiavone *et al.* (2017) no hallaron cambios en el color de la pechuga cuando se remplazaba parcial o totalmente la harina de soja por insectos.

6.3.2 Textura

La textura y su variabilidad son de gran importancia para los consumidores de carne de pollo. Los dos principales factores contribuyentes a la dureza de la carne de los pollos; son la madurez de los tejidos conectivos y el estado de las proteínas miofibrilares. La madurez del tejido conectivo implica la unión cruzada del colágeno en el músculo. Dado que ésta aumenta con edad, la carne es generalmente más dura en los animales más viejos. El segundo factor es el estado contráctil de las proteínas miofibrilares, que depende de forma fundamental de la tasa y la intensidad del desarrollo del rigor mortis (Fletcher *et al.*, 2002). El tiempo tras el sacrificio produce un ablandamiento progresivo de la

carne y el periodo necesario para conseguir una textura óptima varía según la especie, siendo menor en la carne de cerdo o en la de pollo (Listrat *et al.*, 2016).

En general, las aves criadas bajo sistemas ecológicos y de producción libre tienen una actividad física más alta que los pollos de engorde convencionales, esto puede dar como resultado un perfil de textura diferente (Napolitano *et al.*, 2013). Distintos autores (Castellini *et al.*, 2002; Santos *et al.*, 2005) han atribuido a la libre disposición de los animales en patios como ocurre en el sistema de producción ecológica, el fortalecimiento de la musculatura de las extremidades y la proporción de unas fibras sobre otras, provocando un incremento del diámetro de la fibra muscular dando lugar a carnes más duras y firmes (Napolitano *et al.*, 2013). Frente a esto autores como Dingboom *et al.* (2004), definieron un menor impacto del ejercicio sobre la calidad de la carne y lo consideraron ambiguo.

Sin embargo, el efecto del sistema de crianza ecológica también puede estar relacionado con factores genéticos (Napolitano *et al.*, 2013). An *et al.* (2010) encontraron que las diferencias genéticas en el espesor del perimio y el endomio entre pollos de crecimiento rápido y animales de crecimiento lento pueden inducir también diferencias en la dureza de la carne. Así mismo, las diferencias halladas pueden estar relacionados a su vez con la mayor edad de sacrificio de los animales de crecimiento lento (Castellini *et al.*, 2006) lo que aumenta el número de enlaces de colágeno (Fletcher, 2002) aumentando la dureza en la pechuga de estos animales (Castellini *et al.*, 2002; Fanatico *et al.*, 2005; Napolitano *et al.*, 2013). Sin embargo, distintos autores consideran que las diferencias en la textura de la carne procedente de dos razas con distinto crecimiento puede ser muy sutil; así, los consumidores no serían capaces de discriminar entre ambos genotipos, únicamente siendo diferenciada por panelistas entrenados (Napolitano *et al.*, 2013; Fanatico *et al.*, 2005).

La influencia de las condiciones ambientales sobre la textura no ha sido estudiada en profundidad. Mientras que Akşit *et al.* (2006) no hallaron variaciones sobre la resistencia al corte, Feng *et al.* (2008) describieron un incremento de la resistencia al corte de la pechuga cuando se incrementaba la temperatura. Otros autores describen que el incremento de las temperaturas durante las semanas previas al sacrificio puede provocar una pérdida de la capacidad de retención de agua y unas mayores pérdidas de agua por cocción lo que podría reflejarse finalmente en una ternura menor (Sanderock *et al.*, 2001; Zhang *et al.*, 2012). En contraste, Bianchi *et al.* (2007) hallaron valores menores de resistencia al corte en los animales criados durante el verano frente a los que se habían criado en el invierno.

La capacidad de la nutrición para modificar estos atributos aún se encuentra poco estudiada. Cullere *et al.* (2016), han descrito que estos parámetros no se encuentran afectados de forma sustancial por cambios en la fuente proteica de la dieta. En consonancia, Bovera *et al.* (2015) no encontraron cambios sobre la textura cuando se incluía TM en la dieta de pollos de engorde como alternativa al uso de la soja. Sin embargo, Kahn (2018) encontraron mayor ternura y jugosidad de la carne procedente de pollos alimentados con harina de gusanos, atribuyéndolo al mayor porcentaje de grasas presentes en la carne.

6.3.3 Flavor

El flavor se define como una cualidad órgano-sensorial resultado de la combinación de gusto y olor.

Se espera que la carne de aves de crecimiento lento criadas en acceso al aire libre y sacrificadas a una edad más avanzada sea más firme y sabrosa que la carne de ave convencional (Fanatico *et al.*, 2005). Aunque un panel capacitado percibió algunas diferencias en la textura y el sabor entre las carnes de genotipos convencionales y alternativos describiendo la carne de las estirpes de crecimiento lento como más fibrosas y menos jugosas (Napolitano *et al.*, 2013), el panel de consumidores no detectó diferencias en el gusto (Lawlor *et al.*, 2003; Fanatico *et al.*, 2006). En un estudio previo, Lawlor *et al.* (2003), basándose en datos obtenidos de un análisis sensorial descriptivo cuantitativo, declararon que las pechugas de pollo de la producción ecológica pueden no tener mejor sabor que las pechugas de pollo de la avicultura industrial. Sin embargo, en el estudio de Napolitano *et al.* (2013) observaron una preferencia mayor por la pechuga de pollo de origen ecológico frente a la de origen industrial.

La evaluación sensorial de los atributos de sabor de la carne de pechuga mostrada por Sandercock *et al.* (2000) en pollos industriales, no reveló ningún efecto de temperaturas extremas sobre las características organolépticas evaluadas. Sin embargo, se ha demostrado que la intensidad del sabor de la carne de la pechuga aumenta en pollos de engorde criados bajo temperaturas de crianza diurnas cíclicas de 21 a 30 °C (Sonaiya *et al.*, 1990). Aunque un estudio relacionado del mismo grupo, mostró que la temperatura de crianza elevada parece que no tuvo efecto sobre el sabor de la carne.

El sabor es altamente dependiente de la dieta y, en general, las dietas de granos de alta energía tienden a producir un sabor intenso más aceptable que las dietas de forraje o hierba con bajo contenido en energía. Así, el estudio de Lawlor *et al.* (2003) observó que las pechugas procedentes de pollos de producción ecológica, alimentados con maíz y criados en condiciones de libertad, podrían ser claramente discriminadas por un panel entrenado sobre la base de los atributos sensoriales del producto. Resultados similares también fueron obtenidos por Castellini *et al.* (2002) y Husak *et al.* (2008) quienes afirmaron que existen diferencias en la carne en función de la dieta que han recibido los animales. Por otro lado, Hwangbo *et al.* (2009) y Awoniyi *et al.* (2004) encontraron que la suplementación de harina de insectos en su dieta no modificó las características organolépticas de sabor, jugosidad y textura de la carne de broilers.

7. ESPRECTROSCOPIA DE INFRAROJO CERCANO (NIRS)

7.1 Fundamentos del NIRS

Se denomina infrarrojo cercano (NIR) a la región del espectro electromagnético comprendido entre 700-2500 nm o desde 12500 a 4000 cm^{-1} . La región IR del espectro electromagnético se extiende desde 10 cm^{-1} a 14285 cm^{-1} , se divide esta zona instrumental y funcionalmente en cercano, medio y lejano. La espectrometría NIR mide la absorción de radiación electromagnética incluidas entre las longitudes de onda de 750 a 2500 nm (Prieto *et al.*, 2017) (Figura XI).

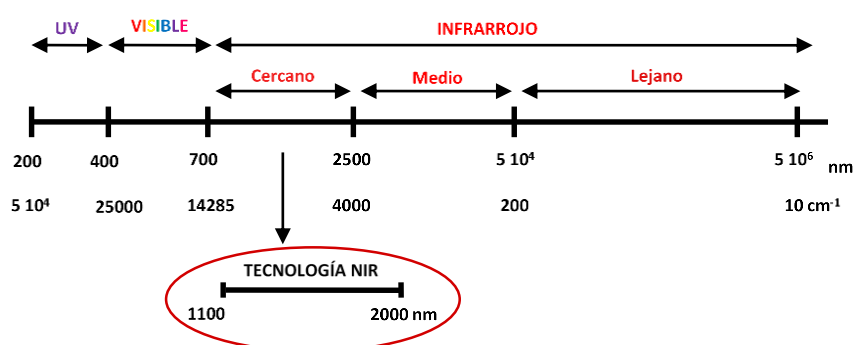


Figura II.XI. Espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR)

Los espectros NIR incluyen bandas anchas que surgen de absorciones en longitudes de onda superpuestas. Las absorciones medidas por espectroscopia NIR corresponden principalmente a sobretonos y combinaciones de modos vibratorios que involucran enlaces químicos C-H, O-H y N. La grabación de la radiación electromagnética absorbida de esos enlaces moleculares en las longitudes de onda NIR produce espectros que son únicos para cada muestra actuando como una "huella dactilar". Los espectrómetros NIR incluyen una fuente de luz, un sistema divisor de haces (selector de longitud de onda), un detector de muestras, un detector óptico y un sistema de procesamiento/análisis de datos. Estas partes pueden tener diferentes propiedades y deben seleccionarse según su uso previsto para proporcionar un instrumento eficaz y consistente (Prieto *et al.*, 2017). Cuando una radiación monocromática incide sobre una muestra, la interacción entre la radiación electromagnética y la muestra puede ser de absorción, transmisión y/o reflexión. En la región NIR es de interés la espectroscopia de absorción/transmisión, reflectancia y transflectancia (Prieto *et al.*, 2017). El presente estudio se lleva a cabo basándose en la espectroscopia de reflectancia.

7.2 Espectroscopia de reflectancia

La espectroscopia de reflectancia estudia la luz reflejada por la superficie de la muestra pudiendo ser de dos tipos: especular y difusa. Las medidas de reflectancia en condiciones normales contienen ambas componentes; la componente especular posee una escasa información sobre la composición y,

por tanto, las medidas se realizan intentando minimizar el efecto de este componente; mientras que la componente difusa es la base de las medidas cuantitativas en NIR.

- **Reflectancia especular:** Predomina cuando el material sobre el que se produce la reflexión tiene altos valores de los coeficientes de absorción a la longitud de onda de la radiación incidente, cuando la penetración es muy pequeña en comparación con la longitud de onda y cuando las dimensiones de la superficie reflectante son mucho mayores que la longitud de onda (Figura II.XII).
- **Reflectancia difusa:** Es la base de las medidas cuantitativas que se realizan en la espectroscopia NIR y tiene lugar en todas las direcciones de la superficie como consecuencia de los procesos de absorción, dispersión (scattering), que varían además con la forma, tamaño, grado de compactación, etc., de la muestra. Este tipo de reflectancia predomina cuando los materiales de la superficie reflectante son débilmente absorbentes a la longitud de onda incidente y cuando la penetración de la radiación es grande en relación con la longitud de onda (Figura II.XIII).

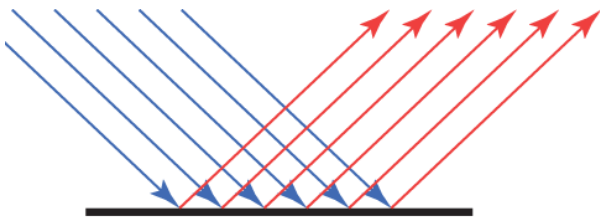


Figura II.XII. Reflectancia especular

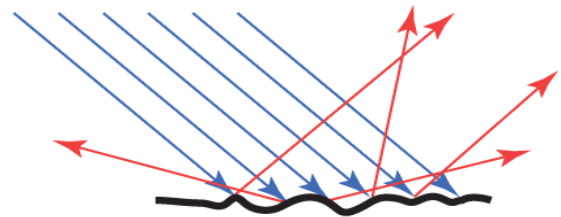


Figura II.XIII. Reflectancia difusa

7.3 Interpretación de los espectros

Para que se produzca absorción de la radiación infrarroja por la materia, la energía del fotón incidente debe tener la energía precisa para satisfacer los requerimientos energéticos de la sustancia material, ya que los niveles energéticos se encuentran cuantizados, como se muestra en la Figura II.XIV. Además, debe producirse un acoplamiento entre la radiación y la materia; para ello, la molécula debe experimentar un cambio neto en el momento dipolar. Por ello, especies monoatómicas y homonucleares, como son He, Ne, O₂, N₂, Cl₂ no absorben en el infrarrojo. Por otra parte, en los sólidos y en los líquidos, la rotación está muy restringida, por lo que en este tipo de muestras sólo tienen interés picos vibracionales.

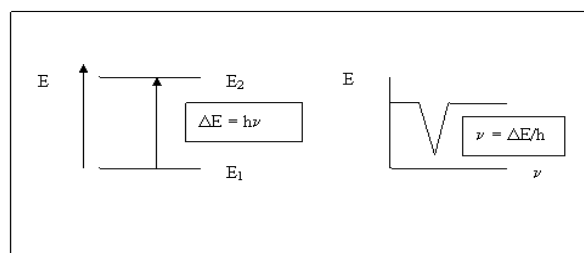


Figura II.XIV. Diagrama de energía para salto electrónico

Para el estudio de los espectros IR de muestras sólidas o líquidas sólo es necesario considerar los movimientos vibracionales debido a que la energía requerida para causar un cambio en estados rotacionales es mucho menor que para estados vibracionales y las bandas de absorción rotacional solo son observables para el caso de los gases.

Por todo ello, un espectro típico correspondiente a la región NIR, es como el representado en la Figura II. XV.

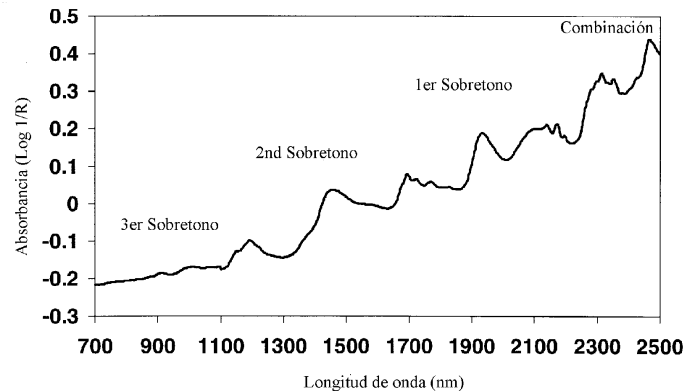


Figura II. XV. Espectro NIR

Se observa que las bandas de combinación presentan intensidades más elevadas que los sobretonos y que las intensidades de las bandas de los sobretonos disminuyen cuando crece el número de tono en un factor de aproximadamente 10.

Los grupos funcionales más importantes que presentan absorciones en esta zona del espectro son:

- Las bandas de alargamiento de los grupos O-H, N-H, S-H, y P-H, tienen absorciones fuertes en el NIR debido su anarmonicidad, mientras que las bandas de los grupos C=O, C-C, C-F, y C-Cl son muy débiles o no aparecen en la región NIR.
- La extensión de grupos R-H o tensión/flexión de estos mismos grupos, forma la mayoría de las bandas NIR.

Las bandas de NIR son muy anchas, con lo que los espectros se encontraran muy solapados, por lo general no se suele utilizar la correlación de las longitudes de onda con el espectro de la molécula en cuestión.

En el análisis de cualquier sustancia, y en especial de los alimentos frescos, hay que tener en cuenta las absorciones que produce la molécula de agua, ya que pueden interferir en la señal y, por tanto, en la cuantificación del producto. Las longitudes de onda en las que el agua absorbe se conocen con gran exactitud y son las que se muestran en la Figura II.XVI.

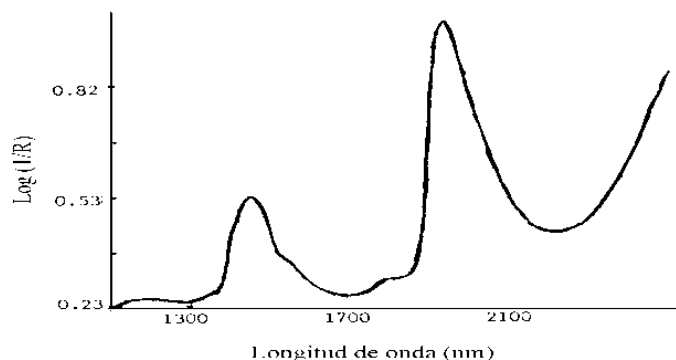


Figura II.XVI. Espectro NIR del agua

7.4 Ventajas e inconvenientes de la tecnología NIR

La técnica NIRS tiene las ventajas de ser rápida, no destructiva, y que requiere escasa o nula preparación de la muestra, además de ser multiparamétrica (permite determinar varios parámetros simultáneamente partiendo de una misma medida) y no requiere reactivo alguno; siendo además una técnica que puede adaptarse a su aplicación on-line (Isaksson *et al.*, 1996). Esta técnica proporciona información sobre la naturaleza física y química de la muestra, pudiendo identificar el compuesto y sus características, cuantificando tanto parámetros físicos como químicos, además de determinar parámetros globales que no están relacionados con un único componente.

En muchos casos, la exactitud de esta técnica es comparable a otras técnicas analíticas, y con mayor precisión al no requerir el tratamiento previo; así mismo se trata de un proceso rápido que gracias a los sensores sensibles permiten obtener respuestas en microsegundo.

Sin embargo, la señal obtenida es tan compleja que las bandas del espectro son de difícil interpretación, por lo que se hace necesario el uso de la quimiometría junto con diferentes pretratamientos espectrales para el tratamiento de las señales. Las bandas emitidas son muy anchas y se superponen, y normalmente no es posible la identificación por observación visual del espectro por falta de selectividad en la medida, esto se puede complicar aún más en el caso de los componentes minoritarios por falta de sensibilidad.

Para conseguir extraer la máxima información de esta técnica es necesario combinarla con análisis multivariantes (componentes principales, regresión por cuadrados parciales (PLS), redes neuronales (ANN), etc.). A nivel cuantitativo, el desarrollo de los modelos para una posterior utilización en predicción sobre muestras desconocidas es lento, ya que se debe elaborar un grupo de calibración robusto, mediante el empleo de métodos analíticos tradicionales. En estos grupos de calibración se debe recoger tanto la

variabilidad física como química que se pudiese dar en las muestras, cuya lectura puede verse complicada.

Algoritmos como la regresión de componente principal (PCR) o la regresión de mínimos cuadrados parciales (PLSR) proporcionan ecuaciones de regresión y predicciones estables. Para superar las no linealidades intrínsecas dentro de los conjuntos de datos, se han aplicado recientemente enfoques de regresión no lineal, como los métodos de regresión local (por ejemplo, regresión ponderada localmente [LWR]) o las redes neuronales artificiales (ANN) (Prieto *et al.*, 2017).

Los análisis cualitativos también se pueden aplicar a los datos espectrales NIR. Los métodos cualitativos se conocen como métodos de reconocimiento de patrones en los que las muestras individuales categorizadas antes del análisis se clasifican en función de los espectros recopilados. Se pueden usar varios métodos para análisis cualitativos que incluyen: ANN, análisis de conglomerados (CA), cuadrados mínimos discriminantes (DPLS), vecinos K-más cercanos (KNN), análisis discriminante lineal (LDA), PCA, modelado suave e independiente de la antología de clase (SIMCA) y máquina de vectores de soporte (SVM) (Prieto *et al.*, 2017). Una vez que se ha realizado la calibración, se requiere un proceso de validación para garantizar que los modelos de calibración resultan exitosos. El método de validación utilizado más comúnmente es la validación interna o cruzada, donde se usa el mismo conjunto de datos utilizado para la calibración en la validación. Sin embargo, las validaciones externas que utilizan un conjunto de muestras independientes y separadas (conjunto de pruebas) proporcionan estimaciones más fiables y relevantes sobre la capacidad de predicción futura del modelo

7.5 Aplicaciones del NIRS. Usos para la carne fresca

El NIRS se ha utilizado como una técnica con éxito en productos agrícolas y la industria alimentaria para el análisis químico debido a sus ventajas como una herramienta adecuada y rápida. Se ha convertido en una técnica bien establecida para el análisis cuantitativo y cualitativo, que ayuda a reducir la demanda de análisis tradicionales. La espectroscopia de infrarrojo cercano se ha desarrollado para predecir la composición química, los parámetros tecnológicos, los atributos sensoriales y el recuento de microorganismos en los alimentos (Prieto *et al.*, 2017).

Aunque la espectroscopia NIR se conoce como una nueva tecnología, este sistema fue descubierto en 1800 cuando Herschel halló que la dispersión de ondas electromagnéticas más allá del rango del espectro visible se puede observar mediante el uso de una serie de termómetros con bulbos ennegrecidos. En esa época se llevaron a cabo toda una serie de estudios en el infrarrojo cercano y en la zona visible, utilizando medidas de transmitancia y reflectancia. Los resultados más prometedores se obtuvieron operando en esta última modalidad, haciendo posible la detección y determinación de algunos parámetros en muestras opacas, como hojas y granos (Norris, *et al.*, 1961; 1984).

Sin embargo, no fue hasta la década de 1960 cuando tuvieron lugar los primeros desarrollos de la tecnología de espectroscopía propiciando que se haya extendido en las últimas décadas y que actualmente sea un método rutinario, tanto a nivel cualitativo como a nivel cuantitativo, para realizar controles de calidad en muy diversos productos (Osborne, *et al.*, 1986).

En su vasto campo de aplicación para la resolución de todo tipo de problemas quedan incluidos desde cereales, uno de sus históricos, hasta el seguimiento de procesos biológicos y el análisis de piezas de arte de valor excepcional, pasando por un amplio rango de aspectos relacionados con la agricultura, la industria, la alimentación, la ecología, y el medioambiente (Osborne *et al.*, 1986). Al final de los años 60 y comienzo de los 70 se produce un gran desarrollo tanto en técnicas como en instrumentos, lo que permite medir diferentes constituyentes químicos con muy poca o nula preparación de la muestra. El trabajo llevado a cabo por Ben-Gera *et al.* (1968) sobre la leche y la carne, es una de las primeras aplicaciones en la industria alimentaria.

Para la carne, la espectroscopía NIR no se utilizó con estos fines hasta 1996, cuando Isaksson y colaboradores utilizaron un instrumento transportador NIR ubicado en la salida de la picadora de carne para predecir la grasa, humedad y contenido de proteína de la carne picada. Recientemente, los esfuerzos se han centrado en la aplicación de esta tecnología en el análisis de carnes. Varias revisiones exhaustivas (Weeranantanaphan *et al.*, 2011; dos Santos *et al.*, 2013; Porep *et al.*, 2015) han resumido los estudios relativos a las capacidades de la espectroscopía NIR en el área de la calidad de la carne.

La espectroscopía NIR ha sido útil para clasificar la carne según distintos criterios cuyo valor puede ser demandado por el consumidor (Honeyman *et al.*, 2006). Sun *et al.* (2012b) encontró que la espectroscopía NIR, junto con la aplicación de análisis discriminantes de mínimos cuadrados parciales (PLS-DA) y LDA, clasificaron correctamente el 100 % de la carne de cordero de procedentes de muestras de dos regiones diferentes de China. Se obtuvo que el 88,9 % de muestras de regiones pastorales y en el 75 % de muestras de regiones agrícolas fueron identificadas correctamente en las cinco regiones individuales donde se tomaron las muestras. Por lo tanto, estos autores concluyeron que la espectroscopía NIR combinado con quimiometría podría distinguir efectiva y rápidamente la carne de cordero por origen geográfico.

En cuanto a la capacidad del NIR para clasificar la carne según la dieta recibida de los animales hay bastantes discrepancias. Prieto *et al.* (2015) describieron que la tecnología Vis-NIRS no fue capaz de discriminar la carne en función de la alimentación recibida (canola, linaza o control). Esa falta de éxito de la espectroscopía NIR para clasificar la carne de cerdo basada en el régimen de alimentación está en desacuerdo con la mostrada por Zamora-Rojas *et al.* (2012), quienes encontraron que la tecnología de espectroscopía NIR fue capaz de clasificar exitosamente las canales procedentes de cerdo ibérico por régimen de alimentación (obteniéndose que más del 90 % de las clasificaciones de muestras fueron correctas). Las diferencias entre los resultados de estos estudios podrían atribuirse a los distintos tratamientos dietéticos utilizados (cerdos alimentados en sistemas libres con pasto y bellotas, cerdos alimentados con bellotas y pasto suplementado con piensos compuestos en un sistema al

aire libre, y por último cerdos alimentados con piensos compuestos usando un sistema de alimentación intensivo versus animales alimentados con una dieta comercial normal, una dieta alta en oleico o una dieta linoleica alta), la duración de la dieta (más de 60 días versus 3 semanas) o los tejidos que se examinaron (grasa subcutánea versus carne). Además, Prieto *et al.* (2015) utilizaron dietas de canola y linaza formuladas para aumentar el nivel de ácidos grasos presentes en la carne con fines beneficiosos para la salud humana. Por lo tanto, se esperaba que las mayores diferencias entre las dietas se localizaran en el tejido graso. En ese estudio, las muestras de carne procesadas tenían alrededor de 2,6 % de grasa intramuscular que podría en parte explicar por qué la clasificación de espectroscopia Vis-NIR fracasó. Por su parte, Ripoll *et al.* (2018) describieron que la espectroscopia NIR fue capaz de clasificar de forma exitosa la carne de cordero procedente de tres sistemas de alimentación diferentes. Resultados similares fueron los hallados por Berzaghi *et al.* (2004) quien mostró que el rendimiento de los modelos discriminantes tuvo una clasificación correcta del 100 % entre los pollos que habían recibido la dieta control y aquellos que habían recibido las dietas enriquecidas. Se concluyó que el NIRS podrían utilizarse para el control de calidad que predice la composición química de la carne de ave y posiblemente algunos tratamientos dietéticos aplicados a los pollos.

Prieto *et al.* (2015) utilizando PLS-DA en base a los espectros Vis-NIR, observaron que la espectroscopia NIR podría clasificar con éxito la carne de cerdo según la raza del cerdo, la mejora de la humedad de los lomos y la duración del envejecimiento con una alta fiabilidad (entre el 95 y el 100 % en función de la raza). Estos resultados concuerdan con los mostrados por Del Moral *et al.* (2008), quien demostró el valor potencial de la técnica Vis-NIRS como método objetivo y rápido para la autenticación e identificación de cerdo Duroc e ibérico (obteniéndose que más del 95 % de muestras eran correctamente clasificadas). En esta línea, de predicción en función de la genética, Fumière *et al.* (2000) demostraron, una buena capacidad de la espectroscopia NIRS para separar entre carne de pollo procedentes de razas de crecimiento lento y pollos de crecimiento rápido.

Además, la espectroscopia Vis-NIR ha demostrado la capacidad de clasificar la carne de vacuno y el cerdo en grados de calidad. Prieto *et al.* (2015) discriminaron con éxito distintos cortes de carne de vacuno según su color utilizando espectroscopia Vis-NIR portátil (el 88-95 % de las muestras se clasificaron correctamente). Monroy *et al.* (2010) clasificaron la carne de cerdo en cuatro grupos de calidad (RFN: rojizo-rosado, firme y no exudativo; RSE: rojo, blando y exudativo; PFN: pálido, firme y no exudativo; y PSE: pálido, blando y exudativo) usando diferentes enfoques de validación, donde los porcentajes más altos de muestras clasificadas correctamente estaban en el rango de 83-100 %. Los estudios realizados hasta la fecha, por lo tanto, muestran claramente el potencial del uso de espectroscopia Vis NIR en carne de ternera y cerdo con fines de clasificación (Prieto *et al.*, 2017).

Es por ello, que esta técnica supone una revolucionaria forma de discriminación y que plantea la posibilidad de clasificar la carne función de múltiples factores que condicionan la producción de los animales.

III. OBJETIVOS

En base a lo anteriormente expuesto parece evidente la importancia que la producción avícola ecológica ha adquirido durante la última década. Sin embargo, tal y como se ha detallado existen una serie de factores que condicionan este sistema productivo, los cuales difieren de la producción industrial. Estos condicionantes, no han sido hasta la fecha estudiados en profundidad, y por lo tanto no se ha podido establecer la influencia que estos factores tienen sobre el crecimiento de los pollos y la calidad de la carne.

OBJETIVO GENERAL

Por tal motivo, el objetivo general de esta Tesis Doctoral es estudiar el efecto que puede tener la densidad, la temperatura, la estirpe y la inclusión de fuentes proteicas alternativas sobre el rendimiento productivo y de la calidad de la carne de pollos criados en sistemas de producción ecológico y utilizar la metodología NIR para su determinación. Este objetivo general se ha tratado de alcanzar a partir de los siguientes objetivos específicos:

- Conocer la situación actual de la producción ecológica de pollos a partir de una muestra representativa de ganaderos de Castilla y León.
- Analizar el efecto de cambios en la densidad y la temperatura sobre el crecimiento de pollos de crecimiento medio-lento durante el primer mes de vida.
- Analizar el efecto de la estirpe utilizada y del periodo de crianza sobre el crecimiento de pollos durante toda su vida productiva criados en sistemas ecológicos.
- Evaluar el efecto de estos factores, tanto de forma independiente como su interacción sobre la calidad de la pechuga (*Pectoralis major*).
- Valorar la capacidad del sistema NIRS para discriminar de forma correcta las muestras en función de la estirpe genética y de la época del año.
- Evaluar el efecto del peso del primer día sobre el posterior desarrollo del pollito hasta alcanzar el mes de vida.
- Proponer un modelo predictivo como sistema de ayuda para los ganaderos que permita determinar el peso al sacrificio de dichas razas en función del periodo de crianza.
- Estudiar los efectos en el crecimiento de la inclusión en la dieta durante los primeros 30 días de vida de los pollos, de alimentos que aporten proteína de alto valor biológico (larvas de *Calliphora sp.*) y que puedan ser certificables en la producción ecológica.
- Observar el efecto derivado de la inclusión de la fuente alternativa de proteína sobre la calidad de la carne.
- Examinar la capacidad del sistema NIRS para clasificar correctamente los animales en función del tipo de alimentación.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se describe el planteamiento del presente trabajo, la normativa de bienestar animal y de calidad a partir de la cual se han desarrollado las experiencias que componen esta tesis. Las determinaciones de los parámetros productivos realizados quedan reflejadas en esta sección de material y métodos de una forma más amplia. Así mismo, las técnicas para el análisis de calidad de la carne y la técnica NIRS se describen de forma minuciosa en esta primera parte, mientras que el diseño de cada experimento se describe de forma detallada en el capítulo correspondiente.

1. NORMAS DE CALIDAD Y BIENESTAR ANIMAL

Los estudios a continuación descritos, fueron llevado a cabo de acuerdo con los principios de Buenas Prácticas Clínicas (Guidelines on Good Clinical Practice for Clinical Trials for Registration of Veterinary Medicinal Products), así como con las Buenas Prácticas de Laboratorio de la OCDE (OECD Series on Principles of Good Laboratory Practice and Compliance Monitoring).

En las actividades de investigación realizadas se ha cumplido el Real Decreto 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.

Se respetó en todo momento, la normativa sobre el bienestar animal de los animales en la granja (Real Decreto 692/2010, de 20 de mayo, por el que se establecen las normas mínimas para la protección de los pollos destinados a la producción de carne).

Las experiencias y procedimientos realizados cumplen con la Ley 32/2007, de 7 de noviembre, para el cuidado de los animales, en su explotación, transporte, experimentación y sacrificio, así como, con la modificación de esta disposición, Ley 6/2013, de 11 de junio. Para el sacrificio de los animales en los mataderos se respetó Reglamento (CE) N.º 1099/2009 del Consejo, de 24 de septiembre de 2009, relativo a la protección de los animales en el momento de la matanza.

2. ENCUESTAS Y ELABORACIÓN DE LA TESIS

En cumplimiento con el primer objetivo de la tesis para establecer criterios de estandarización de las granjas de pollos ecológicos, se realizaron encuestas a cuatro de los ganaderos de producción avícola ecológica en Castilla y León (MAPA, 2018). Este número de encuestados supone una muestra representativa (80 %) de la situación actual en la comunidad autónoma. La encuesta se realizó en el año 2017 de forma telefónica constituyendo las respuestas obtenidas, la base para el diseño de las posteriores experiencias.

Los ítems planteados en la encuesta se agruparon bajo cuatro grandes bloques que engloban preguntas relativas a la instalación, datos productivos de los animales, manejo y principales incidencias. Todas estas preguntas quedan recogidas en el Anexo I.

Los resultados obtenidos en dicha encuesta nos permitieron conocer las similitudes y diferencias entre las distintas granjas, y con ello plantearnos cuales son las dificultades que encuentra este sector. Las respuestas obtenidas en la encuesta quedan recogidas en el capítulo 1 y sirven como base para el diseño de los posteriores experimentos.

3. PARÁMETROS PRODUCTIVOS

El diseño de cada experimento (número de animales, días de duración y condiciones experimentales) se detalla en cada capítulo. En todos los casos, los trabajos fueron llevados a cabo en una granja de experimentación localizada en la provincia de Zamora. Así mismo, para todos ellos, los animales fueron identificados a la llegada a la explotación de forma individual mediante métodos no invasivos; de forma que cada pollito fue tratado como una unidad.

Las variables registradas para el ámbito productivo fueron comunes en todos los experimentos. Los pollitos fueron pesados de forma periódica (siendo el intervalo diferente en función del estudio) en una báscula de precisión ($\pm 0,01$ kg). Se registró el consumo de pienso (kg) y el número de bajas por cada grupo experimental (mortalidad) durante el periodo de estudio.

La Ganancia Media diaria (GMD) se calculó para cada intervalo entre pesadas (kg), siendo el Pn' el peso de la última pesada realizada, y Pn el peso anterior, dividido entre el periodo de tiempo (n, n') transcurrido entre ambas pesadas.

$$GMD = \frac{(Pn' - Pn)}{d(n' - n)}$$

En cuanto al Índice de conversión (IC) se calculó teniendo en cuenta el periodo total de duración del estudio. El valor se obtuvo dividiendo el consumo total de pienso (kg) durante el periodo total de duración del estudio, entre el peso al final del experimento, menos el peso inicial (kg).

$$\frac{\text{Pienso total (kg)}}{Pf - Pi}$$

4. ANÁLISIS DE CALIDAD

En todas las experiencias para llevar a cabo el sacrificio de los animales, estos fueron transportados desde las granjas de origen hasta un matadero certificado para el sacrificio de pollos ecológicos (Amayuelas de Abajo, Palencia) cumpliendo plenamente con la normativa que se ha detallado. Las canales fueron sangradas, desplumadas, evisceradas y liberadas de cabeza, cuello, y grasa del abdomen. Tras el enfriamiento de la canal, se extrajeron por parte de personal cualificado, los cuartos delanteros de las canales de los pollos a los que se había realizado el seguimiento. La muestra objeto de estudio fue la pechuga (*Pectoralis major*), esta pieza presenta facilidad de extracción y uniformidad muscular favoreciendo el desarrollo de los análisis.

Una vez extraídas, las pechugas se mantuvieron a 4 °C en neveras de poliespan con placas de frío para su transporte al laboratorio de Tecnología de los Alimentos, localizado en Escuela Politécnica Superior de Zamora (EPSZ), una vez allí se congelaron a -18 °C hasta el momento del análisis.

Previamente al análisis, las pechugas se descongelaron durante 24h a 4 °C y se dividieron longitudinalmente en tres submuestras (A₁, A₂, A₃). Las muestras A₁ y A₂ se utilizaron para los diferentes análisis fisicoquímicos e instrumentales. Los parámetros de calidad de carne evaluados en las submuestras A₁ fueron la humedad, cenizas, grasa, perfil lipídico, oxidabilidad de las grasas, pH, color, jugo exprimible, mientras que la muestra A₂ se utilizó para determinar las pérdidas por cocción y textura. Por otro lado, sobre la submuestra A₃ se registró el espectro NIRS en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Salamanca.

Las pruebas referentes al análisis de calidad realizadas en cada muestra fueron comunes para las distintas experiencias de la presente tesis, y quedan descritas de forma detallada a continuación.

4.1 Determinación del pH

La medida del pH se obtiene mediante la determinación de la diferencia de potencial entre dos electrodos, uno de ellos el electrodo indicador y el otro el electrodo de referencia. Se calculará el pH a partir de ese potencial aplicando la Ley de Nerst y visualizando el valor de pH obtenido en la pantalla del equipo.

El equipo empleado fue CRISON pH METER BASIC 20® (Figura IV.I) con las siguientes características:

- Escala de 2 a 11.
- Temperatura de trabajo entre 0-80 °C.
- Diafragma abierto sin cerámica exento de AgCl
- Electrodo indicador de vidrio y uno de referencia en un solo cuerpo.

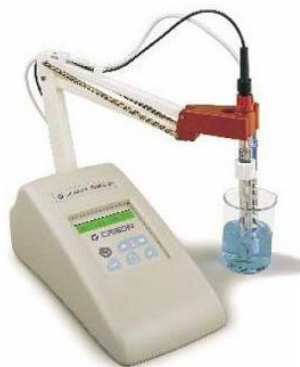


Figura IV.I. CRISON pH METER BASIC 20®

Inicialmente el equipo fue calibrado con soluciones tampón 7,00 y 4,00 previamente atemperadas a temperatura ambiente, una vez calibrado se procedió a tomar la medición con el electrodo de penetración del pHímetro el cual se introduce en la pechuga. El electrodo debe quedar completamente

cubierto por la muestra para que la medición se haga correctamente, el medidor de pH nos indicará una vez que se estabilice el valor obtenido.

Con el fin de obtener un valor homogéneo y aproximado del total de la pieza se realizan tres mediciones en tres puntos a lo largo de la superficie de la muestra, y se realizará la media entre las tres. Si uno de los valores se desvió considerablemente fue descartado. Una vez finalizadas las mediciones, se limpió el electrodo con etanol al 96 % y se secó, sin frotar, con papel de celulosa para posteriormente introducir la membrana en un pequeño depósito que contiene una solución de potasio 3M para que la conservación correcta del aparato.

4.2 Determinación del color

La determinación del color de las muestras de carne se realizó usando un colorímetro (HunterLab MiniScan modelo XE Plus). El método utilizado para este procedimiento es el sistema CIELab, con un iluminante D65 y con un observador patrón de 10°.

Los cambios de color en la superficie de las pechugas se monitorizaron mediante las mediciones de la luminosidad (L^* , una medida de la luz reflejada, donde el valor 100 corresponde a blanco y el valor 0 a negro), el rojo (a^* , donde medidas positivas corresponden al rojo y medidas negativas al verde) y el amarillo (b^* , medidas positivas corresponden al amarillo y medidas negativas al azul) (CIE, 1976).

Previamente a la determinación colorimétrica de las muestras, se llevó a cabo un calibrado del equipo; para ello se utilizaron dos placas de cerámica. La medida del color se realizó sobre la superficie en el lado externo del músculo pectoral sin piel transcurrida una hora desde la exposición al aire en 3 sitios diferentes y se utilizó la media como valor final.

4.3 Jugo exprimible

Para la determinación de la capacidad de retención de agua en carne existen varios métodos, en nuestro proyecto el método escogido es el método del jugo exprimible por compresión sobre papel de filtro desarrollado por Grau *et al.* (1953). En este método de trabajo se aplican presiones externas controlando en todo momento la cantidad de flujo de agua expulsado por la muestra.

El procedimiento consistió en cortar tres réplicas de 0,3 g ($\pm 0,05$) cada una libre de grasa y de tejido conjuntivo, pesadas en una balanza de 0,1 mg de sensibilidad. Cada réplica se colocó sobre un papel de filtro y posteriormente entre las placas de metacrilato, y mediante el atornillado de las palometas y los tornillos la muestra se comprimió entre las placas durante un tiempo de cinco minutos. Una vez transcurrido los 5 minutos se situó una lámina de acetato sobre la placa de metacrilato para marcar la muestra con un rotulador indeleble los perímetros y contornos de la muestra de músculo y de la mancha de exudado. Posteriormente se recortó con ayuda de unas tijeras el acetato, siguiendo la línea del rotulador marcada anteriormente, obteniendo una pieza central correspondiente a la muestra de carne y un anillo correspondiente a la superficie del exudado, el cual se pesó en la balanza de precisión 0,1 mg anotándose su valor. Este proceso se repitió en cada una de las tres réplicas de cada muestra.

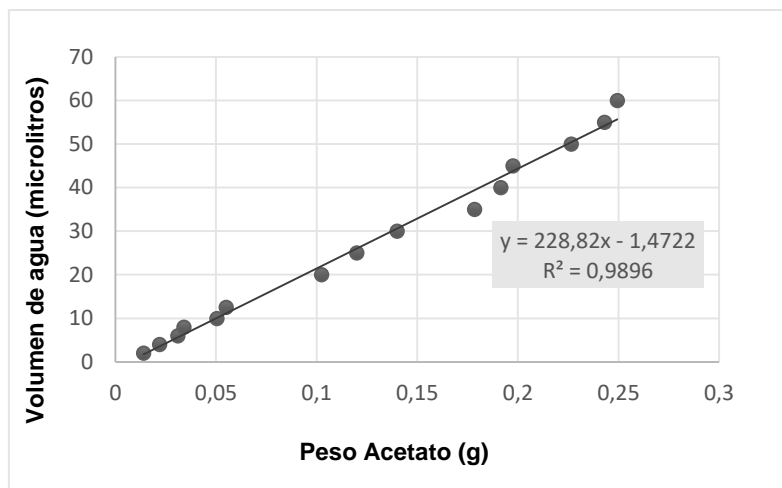


Figura IV.II. Recta de calibrado para el cálculo del jugo exprimible

Para poder obtener el dato del jugo exprimible de la muestra es necesario que previamente se elabore una curva patrón de calibrado, utilizando para su elaboración una micropipeta regulable de 100 μ l en la que la cantidad de agua utilizada era controlada, haciendo dos ensayos para cada cantidad de agua, el peso del área manchada del papel de filtro sobre el acetato y posterior pesada, se obtenía un valor medio con el que se preparó la curva de calibrado que relaciona microlitros de jugo frente el peso en gramos del acetato (Figura IV.II).

4.4 Cenizas

En la carne, las cenizas están constituidas por los residuos que se obtienen tras incinerar de forma completa la materia orgánica. Mientras que el agua y los ácidos volátiles se evaporan, las sustancias orgánicas reaccionan en presencia del oxígeno del aire obteniéndose finalmente dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno. Las determinaciones se realizaron por duplicado para cada muestra.

El método utilizado fue AOAC 927.02 (2005). Previamente, al inicio del proceso, las cápsulas de cerámica habían sido correctamente lavadas y secadas, y permanecieron en la mufla durante 20 minutos a 550 $^{\circ}$ C. Transcurrido estos 20 minutos se sacó la cápsula y se introdujo en el desecador durante 30 minutos para su enfriado y posterior manipulación. A continuación, se pesó la cápsula con una báscula de precisión de 0,1 mg. Después de pesar la cápsula se introdujo en ella 5 gramos de muestra, que previamente había sido picada, pesada con una precisión de 0,1 mg (M1). Una vez pesado se añadió 1 ml de Magnesio Acetato 4-hidrato PA-ACS (150 g/l)

Posteriormente, se colocó la muestra en una placa calefactora hasta conseguir la carbonización total de la muestra. Por último, se transfirió la cápsula al horno mufla previamente calentado a 550 $^{\circ}$ C, durante al menos una hora. En el caso de que fuera necesario se repitió la operación anterior, hasta conseguir unas cenizas blancas o ligeramente grises. Se sacaron de la mufla y se introdujeron en el desecador durante 30 minutos. Finalmente, se pesó la cápsula con las cenizas con una báscula con precisión de 0,1 mg. Se realizaron dos determinaciones sobre la misma muestra. La diferencia entre los resultados de las dos determinaciones no debe superar 0,10 g por cada 100 g de muestra.

$$\text{Porcentaje de cenizas} = (M2 - M0 - M3) \frac{100}{M1 - M0}$$

Siendo:

- M0= Masa (g) de la cápsula
- M1= Masa (g) de la cápsula conteniendo la muestra
- M2=Masa (g) de la cápsula y el residuo después de incineración
- M3=Masa (g) del óxido de magnesio proveniente de la disolución de magnesio añadido

4.5 Humedad

La cuantificación de la humedad se llevó a cabo por medio de una gravimetría. Se realizaron dos repeticiones por cada una de las muestras que fueron procesadas.

Las cápsulas de metal previamente lavadas y secadas, se llevan a la báscula de precisión donde se pesan 15 g de arena de mar calcinada y una varilla de vidrio; posteriormente se lleva a secar a la estufa que previamente ha sido calentada a 102 °C y se mantienen las cápsulas durante 30 minutos. Una vez pasado este tiempo, se lleva la cápsula al desecador hasta enfriar a temperatura ambiente. A continuación, se pesa en la báscula de precisión la cápsula con la arena y la varilla y se añaden $5 \pm 0,001$ g de muestra.

Posteriormente, se añaden 5 ml de etanol al 96 % removiendo la mezcla resultante con ayuda de la varilla. Después se introducen las cápsulas al baño maría a una temperatura de 80 °C hasta conseguir la evaporación total del etanol. Finalmente, tras evaporar el etanol se introducen las cápsulas en la estufa a 102 °C durante 4 horas, pasado este tiempo se llevan al desecador hasta temperatura ambiente y se pesan. Hay que repetir esta operación hasta pesada constante. Es recomendable efectuar 2 o más determinaciones sobre la misma muestra. La diferencia entre los resultados de las dos determinaciones no debe superar 0,10 g por cada 100 g de muestra.

$$\text{Contenido en humedad} = (M1 - M2) \frac{100}{M1 - M0}$$

Siendo:

- M0= Masa (g) de la cápsula, varilla y arena.
- M1= Masa (g) de la cápsula, varilla, arena y la muestra antes del desecado.
- M2= Masa (g) de la cápsula, varilla, arena y la muestra después del desecado.

4.6 Determinación de la grasa total

La determinación del contenido graso tuvo lugar mediante gravimetría (extracción Soxhlet). Una vez obtenida la muestra desecada en el método anterior se debe limpiar y secar un matraz de fondo plano en una estufa a 100 °C durante 30 minutos. Pasado este tiempo se lleva al desecador donde se

enfria hasta alcanzar temperatura ambiente, y posteriormente se pesa en una balanza con aproximación de 0,1 mg (P").

La muestra desecada se introdujo en un cartucho; posteriormente se introdujo el cartucho en la alargadera del extractor Soxhlet que se encuentra conectado con la boca del matraz. A continuación, se añadió un volumen de éter de petróleo aproximado de una vez y media la capacidad de la alargadera.

Una vez instalado todo el conjunto se coloca en el baño de agua y se conecta al refrigerante, posteriormente se calienta a una temperatura de 85 °C y se mantiene durante cuatro horas (este tiempo es el suficiente para producir como mínimo 20 ciclos de extracción). Esto permite la extracción de la grasa por arrastre con éter de petróleo.

Una vez finalizados el total de ciclos de extracción se procede a la eliminación de los restos de éter y al secado del matraz, mediante la introducción del matraz con la muestra en una estufa a 100 °C.

Por último, se deja enfriar el matraz a temperatura ambiente en el desecador y se pesa. Este proceso se repetirá tantas veces hasta la obtención de dos pesadas consecutivas iguales, es decir hasta pesada constante.

$$\text{Porcentaje de grasa} = \left(P' - \frac{P''}{P} \right) * 100$$

El resultado se debe expresar en porcentaje de peso

Siendo:

- P= peso (g) del matraz
- P'= peso (g) del matraz con la grasa
- P''= peso (g) de la muestra

Es conveniente efectuar dos determinaciones sobre cada tipo de muestra. Si la diferencia entre los resultados de dos determinaciones simultáneas no es superior a dos gramos de grasa por cien gramos de muestra, se halla la media.

4.7 Perfil de ácidos grasos

La determinación de los perfiles de ácidos grasos en muestra biológica por cromatografía gaseosa incluye diversos pasos que incluyen la extracción, esterificación, separación, identificación y cuantificación; cada uno de los cuales debe de ser llevado a cabo de forma optimizada para obtener unos resultados exactos y precisos (Schettino *et al.*, 2011).

- Extracción de ácidos grasos

Los lípidos son sustancias insolubles o muy poco solubles en disoluciones acuosas y, sin embargo, solubles en disolventes ecológicos. De esta forma la extracción de los lípidos presentes en una muestra puede llevarse cabo mediante el tratamiento con disolventes orgánicos en distintas proporciones.

En el presente trabajo, la extracción total de los lípidos se llevó a cabo mediante el método descrito por Folch *et al.* (1957). El método propone la extracción de lípidos mediante el uso de la mezcla cloroformo-metanol, afirmando que los lípidos extraídos se encontrarán mayoritariamente en la fase clorofórmica y las sustancias hidrosolubles en la fase acuosa, separándose con facilidad ambas fases por centrifugación. Si tomamos la fase clorofórmica y eliminamos el cloroformo por evaporación, queda en el tubo el extracto de la mezcla de lípidos que contiene la muestra biológica de partida.

Para este procedimiento, se tomaron 5 g de la muestra y se añadieron 5 ml de metanol y se homogeneizó durante 2 minutos con el ultra-turrax (IKA-ultra-turrax T25 basic). Posteriormente se añadieron 10 ml de cloroformo y se homogeneizó durante dos minutos más. La mezcla se filtra y sobre el sólido se repite la extracción dos veces más.

Posteriormente se debe medir el volumen total del filtrado, y a continuación añadir una cantidad adecuada de la disolución de cloruro potásico (KCL) de tal manera que la proporción sea 4:1, y se añade una punta de espátula de sulfato de sodio (Na₂SO₄ 1614807 Sigma-Aldrich). A continuación, la mezcla resultante se llevó a un agitador magnético (VELP-Scientifica) y el contenido se llevó a tubos de centrifuga para posteriormente proceder al centrifugado (enfriado a 10 °C y durante un tiempo de 10 minutos) a 3.500 rpm en la centrifuga (4K15 Sigma-Aldrich).

A la salida de la centrifuga se habrán formado dos capas en el tubo cada una con distinta densidad. La capa superior se elimina con ayuda de una pipeta Pasteur y se desecha, sobre la capa inferior se añade una relación de metanol agua (10 ml de metanol y 10 ml de agua). El conjunto se agita y se separa la capa superior mediante centrifugación en las condiciones anteriormente descritas. La capa inferior que corresponde al líquido purificado se traspassa a un matraz corazón, que a su vez se llevara al rotavapor (R-200 BÜCHI), donde se trabaja a baja presión y a 45 °C para conseguir la total eliminación de los disolventes orgánicos.

- Metilación

Una vez extraídos los lípidos, se han de saponificar para liberar los ácidos grasos y a continuación formar los esteres metílicos, proceso realizado en medio básico con KOH en metanol según el método descrito por Lurueña *et al.* (2010), que posteriormente se separaran mediante cromatografía.

Partiendo de 0,1 g de la grasa extraída se añaden 2 ml de hidróxido de potasio (KOH) (0,2 M en metanol anhidro (322415-1L)). Tras esto, la mezcla resultante se calienta en un baño de agua (B-490 BÜCHI) a una temperatura de 50 °C durante 30 minutos, agitando las muestras cada 5 minutos en el vórtex. Tras este tiempo, las muestras son enfriadas bajo agua fría y se añaden 3 ml de agua destilada y 2 ml de hexano al 96 %.

A continuación, se lleva a tubos de centrifuga y se procede a la centrifugación bajo las mismas condiciones que en el proceso anterior para la extracción de

lípidos. Nuevamente se obtienen dos fases la fase interior de consistencia acuosa y una fase superior que contiene los ácidos grasos metilados.

Esta fase, mediante la ayuda de una pipeta Pasteur, se transfiere a un vial de inyección en el cual se ha introducido previamente una capa de un 1 mm de altura de sulfato de sodio (Na_2SO_4). Posteriormente, se cerró el vial con una cápsula metálica, pudiéndose proceder a realizar el análisis cromatográfico.

- Análisis cromatográfico

El análisis de los ácidos grasos se realizó en un cromatógrafo (GC 6890 N, Agilent Technologies, USA) dotado con un inyector automático 7683 (Agilent Technologies) (Figura IV.III). Se utilizó una columna capilar de sílice de 100 m x 0,25 mm; 0,20 μm (SP-2560, Supelco, Inc., Bellefonte, PA, USA), según las condiciones descritas por Lurueña *et al.* (2010). La jeringuilla utilizada como inyector fue de un volumen de 10 μl y se inyectó un microlitro en el cromatógrafo de gases, equipado con un inyector split/splitless y un detector de ionización de llama (FID). Para el lavado de la jeringuilla se realiza 1 pre-inyección de hexano, 2 pre-inyecciones de la muestra a analizar y una post-inyección de hexano. El cromatógrafo de gases trabajó en modo Split con una ratio Split de 20:1 y un flujo de 19,8 ml/min.



Figura IV.III. Cromatógrafo de gases (GC 6890 N, Agilent Technologies, USA)

El horno del cromatógrafo debe estar inicialmente a 150 °C. Durante el análisis, las rampas de temperatura se distribuyen de la siguiente forma. Inicialmente la rampa asciende 1 °C/min durante 15 minutos hasta alcanzar 165 °C. La segunda rampa se calentará 0,20 °C /min durante 25 minutos hasta alcanzar 167 °C. En la tercera y última rampa, se calentará 1,50 °C/min hasta alcanzar 225 °C y manteniéndose dicha temperatura durante 15 minutos hasta el final del análisis. El proceso finaliza transcurridos 78,67 minutos en total.

Los ácidos grasos se identificaron por sus tiempos de retención, comparándolos con los estándares correspondientes (Sigma Aldrich, Steinheim, Alemania). Los resultados obtenidos se expresaron como porcentaje de cada

ácido graso identificado sobre el total de ácidos grasos. Además, se calcularon los porcentajes de ácidos grasos en función del grado de saturación (ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados), y en el caso de los ácidos grasos insaturados, éstos se agruparon en función de la posición de los dobles enlaces (n-3 y n-6). Y también se calculó la relación PUFA/SFA (poliinsaturados/saturados) como interés nutricional.

4.8 Oxidabilidad de las grasas (Método TBARS)

La oxidabilidad de las grasas se determinó por el método modificado de Buege *et al.* (1978). El TBARS (sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico) es probablemente el ensayo más antiguo y uno de los más utilizados para medir el malondialdehído (MDA); un aldehído reactivo producido por la peroxidación lipídica de PUFA. Este método determina el daño oxidativo causado a los lípidos por las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBA) que es el producto final de la peroxidación lipídica. El resultado obtenido se midió en mg de malondialdehído (MDA)/g de tejido.

Este método parte de 5 gramos de muestra la cual se homogeniza durante un minuto con agua destilada mediante el ultra-turrax (IKA-ultra-turrax T25 basic). Una vez homogeneizada la muestra, un mililitro de la solución resultante se transfiere a un tubo de centrifuga en el cual se añaden 50 µl de la disolución de Hidroxianisol butilado (BHA) (al 7,2 %) previamente formada más 2 ml de la disolución de TBA-TCA (Ácido tiobarbitúrico (20mM) + Ácido tricloroacético (al 15 %)). El conjunto deberá introducirse posteriormente en un baño de agua previamente calentado a 90 °C durante 30 minutos. En este periodo de tiempo las muestras adquirirán una cierta tonalidad rosácea. Una vez retiradas las muestras del baño se procede a su enfriamiento para posteriormente someterlas a centrifugación durante 5 minutos a 6.500 rpm. Por último, el sobrenadante obtenido por centrifugación se mide en el espectrofotómetro a 531 nm, frente a un tubo de blanco que contendrá 1 ml de agua destilada y 2 ml de la solución TBA-TCA. El MDA forma un aducto con dos moléculas de ácido tiobarbitúrico para producir una especie de color rosa que absorbe a 532-535 nm.

La absorbancia obtenida debe estar comprendida entre 0-1, valores por encima de 1 están por encima del rango de medida del aparato. El resultado se expresará en mg MDA/ kg carne, para lo cual será necesario la realización una recta de calibrado previamente elaborada.

Recta de calibrado

La recta de calibrado se realizará diluyendo MDA en varias concentraciones con etanol u otro disolvente orgánico, esto es debido a la insolubilidad de este compuesto en agua. Para la creación de esta recta de calibrado se han elaborado 9 patrones con distintas concentraciones de MDA que queda descrito a continuación.

La realización de los patrones se hará por duplicado y se procederá de igual manera, pero con la diferencia de que en lugar de añadir 1 ml de la muestra homogeneizada se añadirá 1 ml de MDA diluido. El blanco utilizado será el mismo que el utilizado en el ensayo ordinario.

Descripción del contenido de cada patrón:

- Patrón 1: 1 ml de la disolución con 0,1 ml MDA diluido + 50 µl BHA+2 ml TBA-TCA.
- Patrón 2: 1 ml de la disolución con 0,2 ml MDA diluido + 50 µl BHA +2 ml TBA-TCA.
- Patrón 3: 1 ml de la disolución con 0,3 ml MDA diluido + 50 µl BHA + 2 ml TBA-TCA.
- Patrón 4: 1 ml de la disolución con 0,4 ml MDA diluido + 50 µl BHA+ 2 ml TBA-TCA.
- Patrón 5: 1 ml de la disolución con 0,5 ml MDA diluido + 50 µl BHA +2 ml TBA-TCA.
- Patrón 6: 1 ml de la disolución con 0,6 ml MDA diluido + 50 µl BHA + 2 ml TBA-TCA.

La recta de calibrado se representó mediante el enfrentamiento de la absorbancia (nm) con la concentración de MDA (mg) presente en cada dilución. (Figura IV.IV).

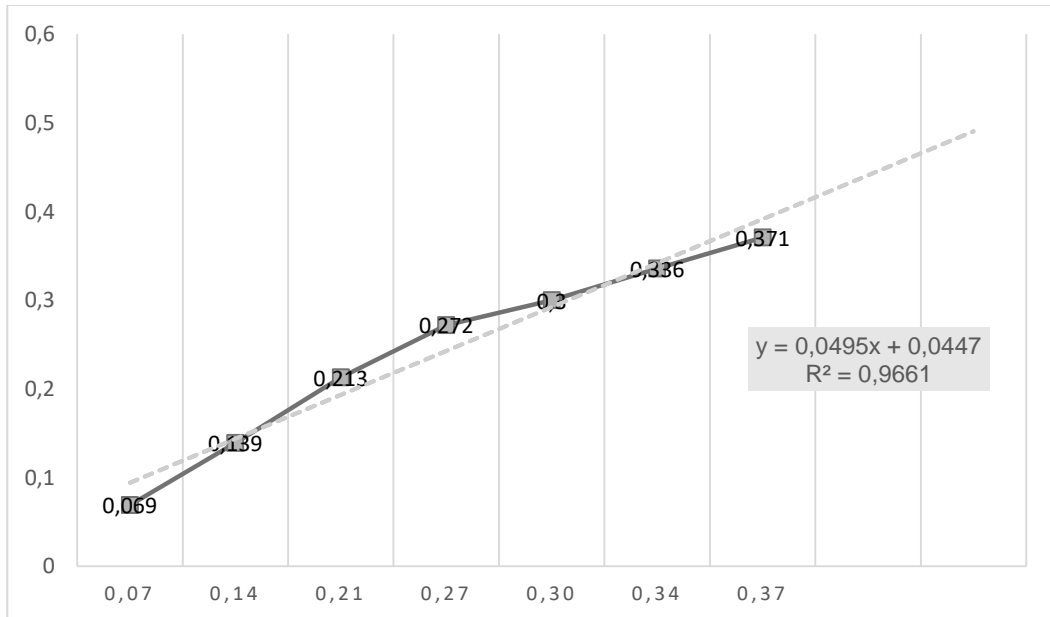


Figura IV.IV. Recta de calibrado para la determinación de la concentración de MDA

4.9 Pérdidas por cocinado

Para determinar las pérdidas por cocción las muestras se limpiaron de la grasa superficial que pudieran contener, se pesaron y se envasaron en bolsas de polietileno. A continuación, se introdujeron en un baño de agua a 75 °C hasta que las muestras de carne alcanzaron una temperatura en el centro de la pieza de 70 °C.

Una vez alcanzada esa temperatura centro pieza se saca la muestra y se enfría bajo un flujo de agua fría para posteriormente pesar la muestra y comprobar por diferencia de peso las pérdidas sufridas por la muestra.

$$\% \text{ de pérdidas por cocción} = (M1 - M2) \frac{100}{M1}$$

Siendo:

- M1= Masa en g de la muestra de carne
- M2= Masa en g de la muestra de carne después de la cocción.

Con el fin de determinar la temperatura de la carne se utilizó una sonda flexible de alta temperatura tipo K (Omega, Laval, QC) que se introdujo en el centro geométrico de la muestra de carne.

4.10 Textura

La textura se determinó según el método propuesto por Szczesniak (1987). La resistencia al corte se midió tras la determinación de las pérdidas por cocción, las muestras de pechuga cocinadas se cortaron las pechugas de forma perpendicular a las fibras musculares, por lo que se cortaron con la ayuda de un bisturí de cuatro a seis prismas en piezas homogéneas de 1 × 1 × 3 cm (alto, ancho y largo) por muestra de pechuga, en las que el eje longitudinal era siempre paralelo a las fibras musculares. Las muestras se deben colocar en posición transversal a la sonda de corte, de manera que la cizalla corte a la mitad el prisma de carne.

Para la determinación de la resistencia se utilizó el Texture Analyzer TA-XT2i (Texture Analyser®, Stable Micro Systems, Surrey, UK), el cual, se encuentra equipado con una cuchilla Warner–Bratzler. Dicho equipo, cuenta con conexión a un ordenador con el software necesario para el registro de las curvas y gráficos obtenidos tras cada ensayo.

Se realizó un ensayo de compresión tipo vuelta al inicio con los parámetros siguientes:

- Velocidad de preensayo 1,0 mm/s
- Velocidad de ensayo: 1,0 mm/s
- Velocidad postensayo: 3,0 mm/s
- Distancia de corte: 30,0 mm

A partir de la resistencia que ejerce la muestra de carne a la fuerza aplicada por la sonda, elabora una curva, mediante la cual se puede obtener información sobre el comportamiento de la muestra. De esta forma se definen una serie de parámetros:

- Fuerza máxima (N): se define como la fuerza máxima que debe realizar el equipo para poder cortar completamente la muestra. Cuanto mayor sea este parámetro, nos indicará que la carne es más dura.
- Área total bajo la curva (kg/mm²): se trata de la energía o trabajo desarrollado por el equipo durante todo el proceso de corte.

5. NIRS

El equipo utilizado se encuentra en el Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Salamanca. Para el registro de los espectros NIR se utilizó un equipo Foss NIRSystem 5000 con sonda de fibra óptica de reflectancia remota de tipo Blunde (haz) regular 210/210 que tiene una placa de cerámica como referencia. La sonda está unida al equipo por 1,5 metros de fibra óptica.

El software utilizado para la toma y el tratamiento de datos es el programa WinISI 1.50 controlado mediante un sistema informático de 32 bits. Los componentes básicos de un equipo NIRS son el sistema óptico y el módulo de muestra, así como el software necesario para el procesado de los resultados obtenidos y su posterior tratamiento (Figura IV.V).

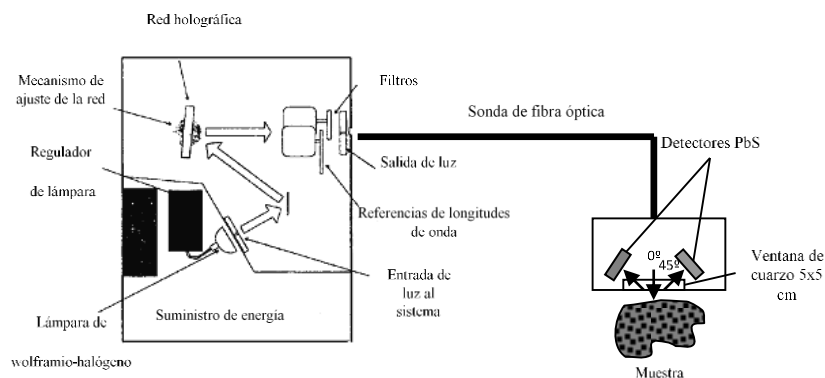


Figura IV.V. Esquema del sistema óptico y módulo de muestra de un equipo NIR

5.1 Sistema óptico

El sistema óptico del equipo consta de los siguientes elementos:

- **Fuente de radiación:** se trata de una fuente térmica, ya que la radiación se produce por el calentamiento de un filamento. Se emplea una lámpara de wolframio-halógeno de alta temperatura y el filamento de wolframio se encuentra en una célula de cuarzo que soporta altas temperaturas. La atmósfera de gas halógeno favorece que el wolframio vaporizado regrese al filamento alargando así la vida útil de la lámpara. Esta fuente de elevada intensidad de emisión, proporciona una radiación continua en la zona NIR (Blanco *et al.*, 2002)
- **Redes holográficas:** la radiación generada en la lámpara se dirige mediante un espejo a una red holográfica cóncava que dispersa la luz blanca incoherente en longitudes de onda individuales transformándola en luz coherente; es decir, tiene la misma frecuencia, amplitud y fase o una diferencia constante de ésta. Al mover esta red se cambia el ángulo de posición respecto al haz incidente recorriendo de esta manera todo el espectro NIR. (Blanco *et al.*, 2002).

- **Referencia de longitudes de onda:** la calibración de longitudes de onda se realiza por medida respecto a un estándar interno. Para la zona de 400-1100 nm se utiliza el didimio y para la zona de 1100-2000 nm se utiliza el poliestireno, observándose picos a las siguientes longitudes de onda: $\lambda=1143,63$ nm, $\lambda=1680,90$ nm, $\lambda= 2166,72$ nm, $\lambda= 2306,10$ nm. En las muestras analizadas se utilizó la sonda de fibra óptica, por lo que el pico $\lambda= 2306,10$ nm no se utiliza, debido a la atenuación de la señal producida por la fibra óptica (NIRSystems, 1999).
- **Filtros:** La red holográfica proporciona un espectro disperso en que junto a las líneas de primer orden (las más intensas), aparecen líneas de órdenes superiores. Estas líneas de órdenes superiores deben eliminarse mediante filtros, los cuales están montados en un soporte cuyas posiciones están controladas por un motor y a la vez, perfectamente sincronizado con la red holográfica (NIRSystems, 1999).
- **Detectores de reflectancia:** recibe la radiación de dispersión difusa de la superficie de la muestra. Los elementos del detector están colocados a 45° de la superficie de la muestra para intentar minimizarla reflectancia especular. Un detector típico de reflectancia consta de 4 detectores de PbS para la zona 1100-2500 y dos detectores de silicio para la zona de 400-1100 nm. El PbS es un material fotoeléctrico y semiconductor que a temperatura ambiente presenta una sensibilidad adecuada en esta región (Blanco *et al.*, 2002).
- **Sonda de fibra óptica:** se trata de un tipo Bundle (haz) regular 210/210, para la aplicación directa sobre las muestras; la sonda tiene una ventana de cuarzo de 5cm x 5cm. Consta de un detector de reflectancia que usa como referencia una placa cerámica. La sonda se une al equipo mediante una conexión de 1,5 metros de fibra óptica. El uso de este tipo de sondas limita el rango espectral en que se pueden realizar las medidas, en este caso la zona óptima se encuentra en 1100-2000 nm, ya que por encima de 2000 nm se producen importantes atenuaciones de la señal debido principalmente a la fuerte absorción de grupos $-OH$ que pueden estar presentes en la fibra óptica (NIRSystems, 1999).

5.2 Estandarización del equipo

Previo al registro de las muestras, el equipo NIR debe ser estandarizado. En este caso todos los registros fueron realizados en reflectancia con sonda de fibra óptica (NIRSystems, 1999). Para ello se realizó un test de diagnóstico cuyo objetivo es evaluar la respuesta del instrumento, la precisión de la longitud de onda y el ruido.

- **Respuesta del instrumento:** el test se basa en una medida de reflectancia absoluta de un plato de cerámica, conocido como cerámica Coors, que es aproximadamente el 80 % reflectiva, un test de lámpara y comprobación de la actuación de los detectores.
- **Precisión de la longitud de onda:** se basa en la medida de alineación de la longitud de onda del instrumento usando como referencia poliestireno, a $\lambda = 1143,63$ nm, $\lambda = 1680,90$ nm y $\lambda = 2166,72$ nm, alineando el instrumento. En la figura III.4 se muestran los máximos de absorbancia para el poliestireno.

- **Ruido o repetitividad:** da una medida de la precisión del dato óptico a cada longitud de onda. Para obtener el test de ruido, se realizan 32 barridos de la cerámica constituyendo así el espectro de referencia. Otros 32 barridos constituyen el espectro de muestra. El valor de $\text{Log } 1/R$ se calcula, restándose una de otro. La diferencia obtenida será el espectro de ruido. El espectro del ruido se utiliza para diagnosticar otras perturbaciones como pueden ser fallos en la lámpara, excesiva temperatura ambiente, variaciones en la humedad ambiente y problemas instrumentales mecánicos. El ruido fotométrico es medido por escaneado del material de referencia dos veces, primero como referencia y luego como muestra. El test se repite 20 veces consecutivas y siendo el resultado una media de los valores obtenidos
- **Chequeo con una muestra de referencia:** la sonda de fibra óptica utiliza un sistema de reflectancia remota y como referencia utiliza una placa de cerámica. Para comprobar el estado en que se encuentra se utilizan los test de diagnóstico. La sonda de fibra óptica provoca mucho ruido a partir de los 2100 nm, por este motivo las medidas se realizan entre 1100-2000nm.

Una vez que los test se han realizado de forma exitosa, pueden comenzarse con los registros de las muestras.

5.3 Registro de muestras

Para este análisis se utilizaron las porciones de submuestras A_3 ; que previamente fueron descongeladas durante 24 horas a temperatura ambiente. La muestra que previamente ha sido secada con papel adsorbente, se pone sobre la placa de cristal que anteriormente ha sido cubierta por papel film (el film se renovará cada vez que se vaya a registrar una muestra diferente). En esta placa de cristal está marcada la posición en la que se colocará la muestra y el dispositivo con el que se registrará, de manera que servirá de guía en el registro evitando que queden espacios sin muestra que puedan ser registrados provocando un error en la medida.

Una vez colocado el dispositivo correctamente sobre la muestra, se procede al registro dirigiendo la operación desde el programa WinISI II v 1.50. Finalmente se obtuvo un archivo. NIR que contenía todos los espectros registrados cada 2 nm en el intervalo 1100-2000, con el que se realizará el calibrado.

6. ANALISIS ESTADISTICOS

En todas las experiencias se usó un ave individual como unidad experimental para analizar los distintos factores que se describen a continuación. Los análisis realizados en cada caso, quedan descritos de forma detallada en los distintos capítulos que comprenden la presente tesis. En todos los casos, los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete de software SPSS (IBM SPSS Statistics 23).

V. RESULTADOS

CAPÍTULO 1

Resultados Preliminares. Situación de la producción avícola ecológica en Castilla y León

La producción avícola es muy diversa y hay muchas tipologías disponibles que responden a diferentes objetivos (Mottet *et al.*, 2017). Los distintos sistemas de producción difieren tanto en las estirpes utilizadas, como en los rendimientos productivos obtenidos, la ganancia económica para el productor y la calidad del producto final. Aunque si bien es cierto que la producción mayoritaria de las aves se realiza bajo sistemas de producción intensiva, las producciones alternativas que apuestan por un producto de calidad bajo condiciones de bienestar animal comienzan a jugar un papel cada vez más importante en el sector (Martínez-Pérez *et al.*, 2017).

Castilla y León, cuenta con un total de 48.831 cabezas de aves de corral en régimen de producción ecológica. Ocupa la quinta posición en la distribución nacional de la producción de pollos bajo este sistema; el cual, está encabezado por Galicia (336.117), seguido de Cataluña (190.354), Andalucía (88.636) y Castilla La Mancha (54.476). El total de cabezas de aves de corral registradas en Castilla y León quedan distribuidas en cinco explotaciones; de las cuales, dos se encuentran en la provincia de Palencia, y las restantes, en las provincias de Segovia, Valladolid y Zamora (MAPA, 2018).

En la encuesta se recogieron las respuestas transmitidas telefónicamente a cuatro del total de cinco ganaderos con los que cuenta la comunidad de Castilla y León. Los participantes pertenecían a Palencia, Valladolid y Zamora. Los ítems con los que contaba la encuesta quedan recogidos en el Anexo I, divididos en cuatro bloques.

En la Tabla 1.1, se reflejan las respuestas de los cuatro ganaderos para el primer y el segundo bloque de preguntas. La capacidad media de animales presentes en la granja fue de 337,5 animales. En la tabla se observan grandes diferencias entre las distintas granjas, siendo el valor mínimo para la granja G1 con 150 animales, mientras que el más alto fue para la granja G4 con 600 animales de forma simultánea. Esta situación condicionó las diferencias halladas en la producción anual. Se observa en la Tabla 1.1 que el rango de producción anual varía desde los 900 pollos/año en la granja G4 hasta los 1.800 pollos/año en la granja G2. La densidad de pollos por corral, el número de bebederos y comederos quedan reflejados en dicha Tabla, siendo las respuestas proporcionadas por los ganaderos muy similares para todas las granjas. El 100 % de los encuestados coincidieron en que sus granjas fueron instalaciones fijas, mientras que uno de ellos planteó que si en un momento puntual se necesitase se podrían incorporar instalaciones móviles como complemento de las anteriores.

El bloque 2 agrupó las preguntas referentes a los datos productivos. Todos estos datos estaban basados en su experiencia y los cálculos que los ganaderos han realizado. En ningún caso cuentan con programas de gestión especializados para la recogida de datos habituales en los sistemas de producción industrial. El peso de entrada de los animales en las instalaciones fue similar para todos los encuestados, describiendo un peso medio 0,041 kg. Todos los productores coincidieron en la entrada de los animales en las instalaciones con un día de edad. La edad de sacrificio varió entre los productores; situándose la media entre 120-135 días de edad, y un peso medio vivo en torno a los 3,775

kg. Estos resultados indican que los días descritos por los ganaderos para el sacrificio, son muy superiores a los 81 días establecidos en la legislación vigente para la producción ecológica de pollos. En el matadero, los ganaderos describieron un peso medio de la canal de 2,713 kg lo que supone en relación al peso de sacrificio, un rendimiento medio de la canal de 72,08 %. El consumo de pienso diario promedio estimado a partir de los datos proporcionados por los ganaderos en el periodo total de vida de los pollos fue de 0,128 kg/día, y una GMD de 0,032 kg/día. No obstante, todas las respuestas proporcionadas en la encuesta de cada ganadero, quedan reflejados en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Respuestas obtenidas en la encuesta (Bloque 1 y Bloque 2)

	G1	G2	G3	G4	Media
BLOQUE 1					
Capacidad máxima	300	600	300	150	337,5
Producción anual (pollos/año)	1.000	1.800	1.200	900	1.225
Densidad (pollos/corral)	140	150	110	110	127,5
Bebederos/corral	4	4	2	4	3,5
Comederos/corral	3	3	3	3	3
Tipo de instalaciones	Fijas	Fijas	Fijas	Fijas	
BLOQUE 2					
Peso medio de entrada en la explotación (kg)	0,040	0,043	0,040	0,040	0,041
Peso medio de salida de la explotación (kg)	3,350	3,500	3,750	4,500	3,775
Peso medio de la canal (kg)	2,200	2,650	3,000	3,000	2,713
Rendimiento de canal (%)	66,670	75,000	80,000	66,67	72,08
Consumo de pienso (kg/día)	0,110	0,150	0,125	0,125	0,128
GMD (kg/d)	0,0267	0,035	0,033	0,033	0,032

El tercer bloque se correspondía con las preguntas acerca del manejo de los animales (Tabla 1.2). Los productores coincidieron que, durante el primer mes de vida, los animales permanecieron sin acceso al exterior y con condiciones controladas de luz y temperatura; mientras que a partir del día 30 los animales tuvieron acceso al exterior, siendo el número de horas variable en función de la época del año.

El total de los encuestados coincidieron en el uso exclusivamente de machos que llegaban sexados desde los centros de origen, localizados de forma fundamental en Cataluña. La gran mayoría de ganaderos incluían en su estructura híbridos de crecimiento medio (RedBro, ColorYield, Tricolor Catalana) y tan sólo uno de los ganaderos encuestados utilizaba en su estructura estirpes autóctonas de crecimiento lento. La elección de una estirpe u otra dependía fundamentalmente de la disponibilidad de las mismas por parte de la casa comercial, más que con el rendimiento productivo de estos animales, ya que los datos productivos mostrados por los comerciales de las diferentes casas de genética no se correspondían con sistemas de producción ecológica.

En todos los casos, los pollitos son alimentados *ad libitum* con un pienso de arranque (1-30 días) que se compra a empresas autorizadas en la producción de pienso ecológico. En tres de los ganaderos encuestados el pienso de crecimiento-acabado (30 días hasta el sacrificio) fue realizado por los propios productores. Para la elaboración de este pienso, contaron con materias primas ecológicas autorizadas, producidas por los ganaderos fundamentalmente en el caso de los cereales, y compradas a terceros en el caso de las fuentes proteicas. El ganadero restante compra el pienso de crecimiento acabado en empresas autorizadas para esta producción. Si bien es cierto, todos los productores argumentaron que la escasa disponibilidad de fuentes proteicas aceptadas en la producción ecológica y el elevado precio de las mismas es uno de los problemas más importantes que encuentran hoy en día frente a la producción industrial.

Esta respuesta, nos orientó sobre la siguiente pregunta, dónde les planteamos a los ganaderos cuáles eran, desde su punto de vista, las principales diferencias con la producción industrial. Las respuestas se centraron en 3 aspectos principales. Por un lado, los encuestados coincidieron en las dificultades en la búsqueda de fuentes proteicas, que se encuentren autorizadas por la legislación vigente y que, a su vez, sean nutrientes proteicos de alta calidad y que tengan un precio adecuado, para incorporar en las dietas de los pollos. El 50 % de los ganaderos encuestados consideraron que el efecto ambiental derivado del acceso al exterior que mantienen estos animales puede condicionar los factores productivos. Los productores plantearon que las condiciones de temperatura extrema, tanto como por frío como por calor, condiciona el consumo de pienso, el peso final y el rendimiento de los animales. Finalmente, uno de los productores consideró como una de los principales aspectos desconocidos, la dificultad en la elección de la estirpe a utilizar en la granja.

En cuanto a la sanidad de la granja (Bloque 4), a pesar de que los ganaderos describieron problemas sanitarios tales como coccidios o músculo blanco, los ganaderos describieron una baja incidencia de dichos problemas en sus granjas. Todos ellos coinciden en el uso de tratamientos naturales a partir de plantas autorizadas, que tienen efectos antibacterianos y que protegen de forma natural a los animales (tales como el ajo o la cebolla, y el vinagre de vino) y que incluyen en el pienso como tratamiento preventivo. Con respecto al matadero, los encuestados reseñaron la baja incidencia de decomisos, lo que se traduce en buenas prácticas de manejo de los animales en los momentos previos al sacrificio como la carga y descarga de los animales en el matadero. Las contestaciones recibidas en la encuesta quedan recogidas en la Tabla 1.2

Las respuestas obtenidas, nos permitieron conocer cuál era la problemática común de los productores de pollo ecológico. Es por ello que, en base esto, se sentaron las bases para desarrollar las distintas experiencias que se presentan en esta tesis doctoral. De esta forma, el trabajo realizado queda recogido en tres capítulos que engloban el estudio de: (i) el efecto que ejercen las condiciones ambientales (densidad y temperatura), durante el primer mes de vida de los pollos, (ii) el efecto de la estirpe y las condiciones ambientales de crianza durante toda su vida productiva, y (iii) la inclusión de fuentes proteicas

alternativas en la alimentación de estos animales; contemplando dichos factores desde el aspecto del rendimiento productivo y la calidad de la carne.

Tabla 1.2. Respuestas obtenidas en la encuesta (Bloque 3 y Bloque 4)

	G1	G2	G3	G4
BLOQUE 3				
Proporción por sexos	Machos	Machos	Machos	Machos
Estirpes utilizadas	RedBro. Tricolor Catalana	RedBro. ColorYield	Tricolor Catalana	Tricolor Catalana. Estirpes autóctonas
Pienso arranque (comprado)	Si	Si	Si	Si
Pienso crecimiento-acabado (comprado)	Si	No	No	No
Principales limitaciones con respecto a la producción industrial	Coste alimentación	Coste Alimentación. Condiciones ambientales	Coste Alimentación. Desconocimiento estirpes	Coste Alimentación
BLOQUE 4				
Principales patologías	Catarros, coccidios	Problemas patas	Problemas patas	Coccidios
Comunicaciones en matadero	Picado, moratones	picado	-	Lesión alas
Tratamientos utilizados	Vinagre de vino	Macerado de ajo y cebolla	-	Macerado de ajo
Incidencia	Baja	Baja	Baja	Baja

CAPÍTULO 2

**Efecto de las condiciones ambientales
sobre el crecimiento de pollos durante la
fase inicial de vida en sistemas de
producción ecológica**

En la producción avícola el sistema de crianza es el factor más complejo que modifica la cantidad y calidad de estos productos. Este sistema agrupa las condiciones ambientales, (como el programa de iluminación, la temperatura, la ventilación, la humedad relativa o la densidad) así como el valor nutritivo de la alimentación. Cada uno de estos elementos, tomados en conjunto o por separado, puede constituir una oportunidad óptima para la producción avícola o convertirse en un factor estresante que causa problemas de salud y disminuye la productividad del animal (Batkowska *et al.*, 2017). Es por ello, que el rendimiento productivo de las aves depende de forma directa de las condiciones de crianza independientemente del tipo de sistema productivo. Las condiciones de temperatura (Zhang *et al.*, 2012; Tang *et al.*, 2013; Bhaduria *et al.*, 2016) y la densidad de animales (Tong *et al.*, 2012; Ligaraba *et al.*, 2016; Siaga *et al.*, 2017) son dos de los factores que han sido estudiados con mayor frecuencia para determinar su influencia en la productividad de pollos.

La gestión inicial de los diferentes condicionantes en la producción de pollos es fundamental para el rendimiento productivo, mientras que su desarrollo deficiente puede afectar negativamente a la uniformidad del lote y reducir su rendimiento final. En el estudio nos hemos centrado en dos de los aspectos principales que condicionan el crecimiento de pollos y que juegan un papel de mayor importancia en el caso de la producción ecológica al tratarse de un sistema de producción al aire libre. A continuación, se expone en dos secciones diferenciadas la influencia que tiene sobre el desarrollo de los pollos de crecimiento lento las variaciones de la temperatura y de la densidad durante el primer mes de vida.

SECCIÓN 1: Efecto de la densidad de población sobre el rendimiento productivo durante el primer mes de vida en pollos de crecimiento medio-lento bajo condiciones de producción ecológica.

RESUMEN

La densidad de población se considera uno de los factores más importantes para el bienestar y desarrollo de los pollos. El objetivo de este experimento fue proporcionar información relevante sobre los beneficios de la disminución de la densidad en la producción de pollos ecológicos. Un total de 240 pollitos machos (*Gallus gallus domesticus*) de un día de edad de la estirpe RedBro (crecimiento medio-lento) fueron aleatoriamente asignados en dos densidades D1 y D2 con 35 y 11,25 animal/m² respectivamente, contando con dos replicas por cada tratamiento (n=60). Los pollitos fueron pesados semanalmente y se registró el consumo por cada réplica durante el primer mes de vida de los animales, que fue la duración del experimento (1-30 d). Los datos registrados se analizaron por análisis de una vía (ANOVA) para determinar los efectos de la densidad de población sobre los parámetros productivos. La disminución de la densidad (D2) provocó un incremento significativo ($p < 0,001$) sobre el peso final (P5) (+59 %), la velocidad de crecimiento medida mediante la ganancia media diaria total (GMDt) ($p < 0,01$) (+54,7 %), el consumo de pienso (+13,8 %), y una reducción significativa ($p < 0,01$) del índice de conversión (IC) (-42,3 %) frente a los pollitos que habían sido criados en una densidad mayor (D1). Nuestros resultados sugieren que el rendimiento productivo de los pollitos puede mejorarse cuando son criados en densidades inferiores a 11,25 animales/m². Esta densidad de stock fue menor a la que establece el Real Decreto Europeo para producción ecológica de pollos, lo que plantea una posibilidad de cría para los productores de este sistema alternativo

Palabras clave: *densidad, pollo ecológico, crecimiento.*

INTRODUCCIÓN

La densidad de población es uno de los factores no genéticos más importantes en la cría de aves. Una alta densidad de aves por metro cuadrado reduce el coste de producción; esta afirmación está apoyada por las conclusiones de Abudabos *et al.* (2013), quienes documentaron que el uso económico del espacio es una estrategia común para aumentar la cantidad de carne producida por unidad de área. Sin embargo, la densidad excesiva puede afectar al rendimiento de los pollos de engorde y al bienestar (Kryeziu *et al.*, 2018).

La densidad de población máxima se puede definir como el número de aves o el peso por superficie del gallinero (Berg *et al.*, 2012) y afecta a la tasa de crecimiento, el peso corporal por área del gallinero y repercute de forma directa sobre el bienestar animal (Kryeziu *et al.*, 2018). Las densidades de producción bajo las cuales se mantienen los pollos de varían enormemente entre los países y los sistemas de cría (Buijs *et al.*, 2009).

En Europa, en la producción industrial de pollos la densidad de carga se ha fijado en 30 kg Peso vivo (PV)/m² con una opción para aumentarla a 39 o 42 kg PV/m², siempre que se cumplan las normas establecidas (Comisión Europea, 2007). En cuanto a la producción ecológica, queda regulada en la sección 2 del Reglamento (UE) 2018/848 donde se exige no superar los 21 kg PV/m²; esto implica que el día de llegada a la granja donde los pollos pesan alrededor de 60 g se podrían tener en una densidad de 350 pollos/ m², mientras que cuando alcanzan 30 días y un peso medio de 400 g se permitiría tener hasta 52,5 pollos/ m².

Nuestro experimento evaluó la influencia de dos densidades diferentes (ambas por debajo de lo establecido en la normativa para producción ecológica) sobre el rendimiento productivo de pollos de crecimiento medio-lento durante el primer mes de vida, criados en sistemas de producción ecológica.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Animales y diseño del experimento

En el estudio se utilizaron un total de 240 pollitos (*Gallus gallus domesticus*) machos de un día de edad del híbrido de crecimiento medio-lento RedBro (Figura 2.1). Los animales llegaron sexados de la granja de origen, con pesos y tamaños similares. El periodo de estudio abarcó la fase inicial de crecimiento de los pollos (0-30 días).



Figura 2.1. Pollito de un día híbrido Red-Bro a su llegada a las instalaciones

Los pollitos se mantuvieron en una granja privada situada en el municipio de Venialbo en la provincia de Zamora, España (41°22'36.6"N 5°32'30.9"W); dónde el día de llegada fueron divididos de forma homogénea en dos grupos. El estudio contó con dos repeticiones (n=120), y cada repetición con dos grupos de 60 pollitos cada uno (D1 y D2).

En ambos grupos, las densidades planteadas en nuestro estudio son menores a las que establece el Reglamento para la producción ecológica. Mientras que en el grupo D1 los pollos fueron criados a la densidad de 35 pollos/m², en el grupo D2 fueron criados a 11,25 pollos/m². Esto plantea que el grupo D2 fue criado con la tercera parte de densidad con respecto al D1 y con casi la quinta parte que se establece en el reglamento ecológico. En la

producción industrial con el peso mencionado pueden criarse hasta un total de 80 pollos/m².

Condiciones del alojamiento

Los pollitos de cada grupo fueron identificados a su llegada de forma individual y alojados en dos gallineros independientes dentro de la misma instalación, compartiendo idénticas condiciones ambientales (humedad relativa, ventilación y temperatura), utilizándose paja de cebada como cama.

La temperatura se mantuvo a 35 °C durante las primeras dos semanas y se fue reduciendo de forma progresiva hasta alcanzar 25 °C al final del experimento. La iluminación fue de 11 horas de luz con una intensidad de 250 lux.

Alimentación

Cada gallinero contaba con un sistema de suministro de agua y alimento para permitir una ingesta *ad-libitum*. La base de la alimentación para todos los grupos, fue un pienso compuesto certificado ecológico (Energía Metabolizable (EM) 2.461,87 Kcal/kg; PB 21,45 %), confeccionado por una fábrica de piensos autorizada y elaborado a base de cereales (maíz, cebada, trigo), soja no OGM, guisantes y corrector autorizado (Tabla 2.1). Este pienso, cumple plenamente con los requisitos de nutrientes para pollos camperos de crecimiento lento (0-28 días), de acuerdo a las Normas FEDNA 2018 (Santomá *et al.*, 2018).

Tabla 2.1. Composición (%) del pienso de arranque para pollos ecológicos

Ingredientes	%
Soja-44 no OGM	35,194
Maíz	30,000
Trigo	12,867
Cebada	9,844
Guisante primavera	8,000
Fosfato bicálcico	1,929
Carbonato cálcico	0,823
Corrector ecológico ¹	0,500
Acidificante	0,300
Sal	0,284
Bicarbonato	0,159
Complemento enzimático	0,100

¹ Corrector Ecológico (Nutega Coslada, Madrid) Valores dados (g) por kg de pienso: 1,23 Calcio; Materia seca 4,87; Valores dados (mg) por kg de pienso. E5 Manganeseo (óxido de manganeseo): mg/kg 65,0; E6 Zinc (óxido de zinc) 37,0; E4 Cobre (sulfato cúprico pentahidratado) 4,0; 3b202 Yodato de calcio anhidro: 1,90; E8 Selenio (selenito de sodio) 0,10; E1 Hierro (carbonato ferroso) 18,0; 3^a711 Vitamina K3 1,50; Vitamina B2 3,00; 3^a315 Niacinamida 15,0; 3a841 D-pantotenato cálcico 6,44; 3a890 Cloruro de colina 245,00. Valores dados (UI) por kg de pienso 3a672a Vitamina a 7500.00; E671 Vitamina D3 150.000; Vitamina B12 (mcg/kg) 10,00

Control del desarrollo

Los animales fueron examinados de forma previa a la entrada en la instalación para detectar cualquier anomalía registrándose las muertes de forma diaria. Cada semana, los pollos fueron pesados de forma individual, además de controlar el consumo de pienso en cada corral y estado general de los mismos. Se registraron los pesos de los animales a la llegada a la granja (p1), ($D1=0,059 \pm 0,002$ kg; $D2= 0,048 \pm 0,001$ kg), mientras que los pesos restantes (p2, p3, p4, p5) se registraron semanalmente.

Se calcularon las ganancias medias diarias (GMD) entre los diferentes pesos registrados, de tal manera que GMD2-1 corresponde a la GMD del intervalo entre el p1 y p2, GMD3-2 del intervalo p2 y p3, GMD4-3 de los pesos p3 y p4, GMD5-4 de los pesos p5 y p4; finalmente GMDt es la ganancia media diaria entre el p1 y el p5 correspondiente al periodo total del experimento.

Se registró el consumo de pienso durante la duración del experimento para cada gallinero, permitiendo calcular el consumo total y, posteriormente, el IC. El IC se calculó para el periodo total de duración del estudio.

Análisis estadístico

Se realizó la prueba t de Student para muestras relacionadas en todos los grupos objeto de estudio (D1 y D2) comparando la diferencia entre pesadas (p1, p2, p3 p4 y p5), para comprobar el crecimiento de los animales.

Para estudiar el efecto del factor densidad, se empleó el análisis de varianza de una vía (ANOVA) sobre el peso de cada semana, GMD, consumos e IC. Se consideró la existencia de diferencias significativas cuando $p < 0,05$.

- Prueba t de Student

Se observó que independientemente del grupo (D1 y D2), hubo incremento significativo ($p < 0,001$) de peso en todas las pesadas a lo largo del experimento (Tabla 2.2 y 2.3). Los resultados se expresan como la diferencia entre la primera pesada y la posterior para los distintos intervalos, siendo todos los valores negativos asociados a esta variación.

Tabla 2.2. Prueba t de Student de muestras emparejadas para las pesadas en el grupo D1

		Crecimiento (kg)	t	p
Par 1	p1-p2	-0,069 \pm 0,003	-22,872	***
Par 2	p2-p3	-0,080 \pm 0,003	-25,942	***
Par 3	p3-p4	-0,086 \pm 0,005	-18,797	***
Par 4	p4-p5	-0,107 \pm 0,005	-19,829	***

Los resultados se presentan como media \pm desviación estándar. ns= No significativo; * $p < 0,05$ ** $p < 0,01$ *** $p < 0,001$

Tabla 2.3. Prueba t de Student de muestras emparejadas para las pesadas en el grupo D2

		Crecimiento (kg)	t	p
Par 1	p1-p2	-0,066 ± 0,004	-18,790	***
Par 2	p2-p3	-0,131 ± 0,006	-21,480	***
Par 3	p3-p4	-0,217 ± 0,010	-22,400	***
Par 4	p4-p5	-0,201 ± 0,012	-17,490	***

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05 ** p <0,01 *** p <0,001

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a. Pesos

La Tabla 2.4 refleja los resultados obtenidos en las diferentes pesadas (kg) a lo largo del estudio. Frente a lo esperado, se observó un incremento significativo del peso desde la primera semana de vida (p2) en aquellos animales que habían sido criados con mayores densidades (D1) (0,129 vs. 0,114 kg). Sin embargo, esto queda justificado como consecuencia de la distribución aleatoria de los pollitos en el experimento, ya que si se observa la pesada realizada a la llegada de los animales a la granja (p1), el grupo con mayor densidad (D1) tuvo un peso numéricamente mayor (0,060 kg) frente a los que habían sido criados en densidades menores (D2) (0,049 kg).

Tabla 2.4. Pesos (kg) a lo largo del experimento para cada uno de los grupos objeto

Peso	D1	D2	p
p2	0,129 ± 0,003	0,114 ± 0,004	**
p3	0,209 ± 0,006	0,251 ± 0,008	***
p4	0,294 ± 0,009	0,471 ± 0,015	***
p5	0,402 ± 0,012	0,672 ± 0,025	***

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05 ** p <0,01 *** p <0,001

Sin embargo, se observa claramente (Figura 2.2) como a pesar de que previamente existían diferencias significativas (p <0,01) entre ambos grupos siendo el peso mayor en los animales pertenecientes al grupo que había sido criado con mayor densidad (D1); es partir de la tercera pesada (p3) cuando se produce un punto de inflexión y un cambio en las tendencias en el peso de los pollitos. A partir de la pesada p3 los animales pertenecientes al grupo que había sido criado con la menor densidad (D2) tienen pesos significativamente superiores (p <0,001) cuyas diferencias se mantienen en las sucesivas pesadas (p4, p5), distanciándose de forma notable con respecto al grupo D1.

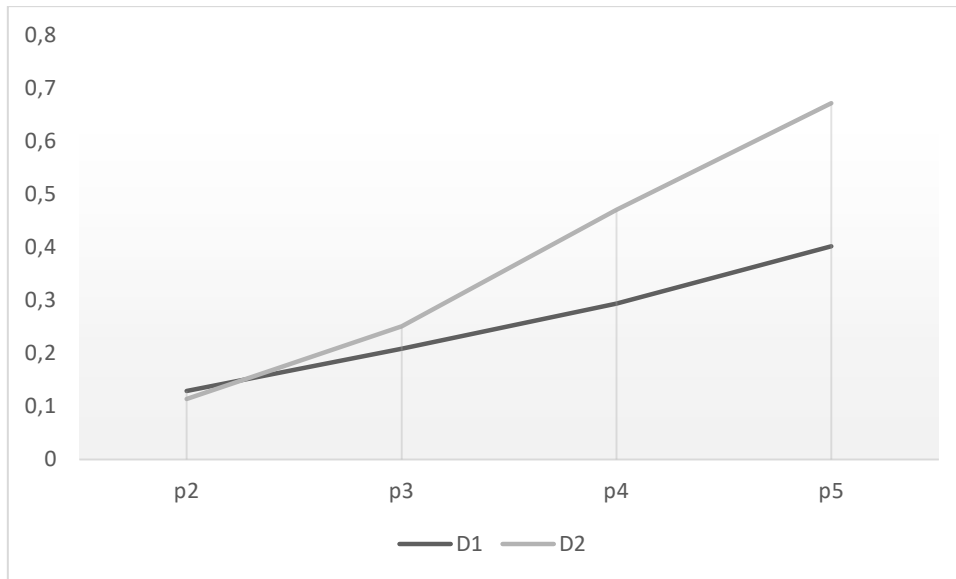


Figura 2.2 Evolución del peso (kg) en las distintas pesadas frente a las densidades

Nuestro estudio mostró que el peso vivo final disminuye al aumentar el número de aves por m². Esto supone una reducción del 59 % del peso corporal final (p5) de los animales criados con una densidad mayor (D2); que puede deberse a los efectos del hacinamiento en la limitación del espacio para el crecimiento y consecuentemente, el acceso restringido a la alimentación. Esto provocaría déficits nutricionales o resultar en un mayor gasto de energía y finalmente un aumento del estrés (Dozier *et al.*, 2006).

Estos hallazgos están de acuerdo con los trabajos publicados por otros investigadores (Dozier *et al.*, 2006; Petek *et al.*, 2010; Hassanein, 2011; Siaga *et al.*, 2017; Madilindi *et al.*, 2018), quienes informaron que las aves criadas en el grupo con mayor densidad de población tenían el peso corporal final más bajo en comparación con las de otras densidades. No debemos olvidar que estos autores realizaron sus experimentos en producción industrial, donde las densidades planteadas son mucho más elevadas a las que se establecen en los sistemas de producción ecológica. En contraste, Rambau *et al.* (2016) no encontraron diferencias significativas en cuanto al incremento de peso final cuando se mantenían los pollos en diferentes densidades.

b. Ganancia Media Diaria (GMD)

Resultados similares a lo observado en el peso fueron los hallados para la GMD tal y como queda reflejado en la Tabla 2.5. Estos resultados se muestran como el peso adquirido (kg) por día (d) para cada uno de los intervalos contemplados en el experimento (kg/d). Los valores de GMD2-1 no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre ambos grupos. Aunque si bien es cierto, al igual que ocurría con los pesos, existe un valor numérico mayor (0,010 kg/d) en la GMD2-1 para el grupo de pollos que habían sido criados a mayor densidad (D1). Es a partir de la GMD3-2, cuando los valores de GMD comienzan a incrementarse de forma significativa ($p < 0,01$) para el grupo que tenía menor densidad (D2). Estas diferencias se mantuvieron durante todo el periodo de

duración del experimento (GMD4-3, GMD5-4) así como en la ganancia de todo el estudio (GMDt). Los animales que se criaron con una menor densidad (D2) tuvieron una mayor ganancia de peso total (0,022 vs. 0,012 kg/d) que aquellos que se criaron en mayores densidades (D1).

Tabla 2.5. Resultados obtenidos para la velocidad de crecimiento medida mediante GMD (kg/d) en los distintos grupos del estudio (D1 y D2)

GMD	D1	D2	p
GMD2-1	0,010 ± 0,000	0,009 ± 0,001	ns
GMD3-2	0,011 ± 0,000	0,019 ± 0,001	**
GMD4-3	0,012 ± 0,001	0,031 ± 0,001	**
GMD5-4	0,015 ± 0,001	0,029 ± 0,002	**
GMDt	0,012 ± 0,000	0,022 ± 0,001	**

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05 ** p <0,01

La reducción en la tasa de crecimiento debido al incremento de la densidad de población está altamente relacionada con una disminución en el consumo de alimento (Shanawany, 1988). Los autores Dozier *et al.* (2006), Petek *et al.*, (2010), Hassanein (2011) y Madilindi *et al.* (2018) coinciden que el incremento de peso final asociado a menores densidades está relacionado con un aumento de GMD total durante la fase inicial de crecimiento.

c. Consumo e Índice de Conversión (IC)

La Tabla 2.6 recoge los resultados obtenidos para el IC y el consumo registrado (kg/30 días) para los animales durante el periodo total de estudio (1-30d).

Tabla 2.6. Resultados obtenidos para el consumo (kg totales/pollo) e IC en los distintos grupos del estudio (D1 y D2)

	D1	D2	p
Consumo	0,920 ± 0,016	1,047 ± 0,014	**
IC	3,091 ± 0,121	2,177 ± 0,181	**

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05 ** p <0,01

Las diferencias halladas para el valor de GMD entre los distintos estudios, es una variable dependiente de la disminución provocada en el consumo de alimento, así como del grado de mejora ambiental que se logre en las instalaciones. Nuestro estudio mostró que los animales que habían sido criados en menores densidades (D2) tuvieron un mayor consumo de alimento (1,047 vs. 0,920 kg) frente a los que se habían criado en una densidad mayor (D1). En consonancia, Dozier *et al.* (2006) describieron que el incremento de la densidad repercutió de forma negativa sobre el consumo, mientras que Rambau *et al.* (2016) no encontraron diferencias significativas en la GMD en pollos con distintas densidades. Dozier *et al.* (2006) relacionaron un mayor consumo de pienso con un mayor espacio y acceso al comedero cuando las densidades fueron menores.

Se debe recordar que el IC mide la eficiencia productiva, por lo que valores menores están relacionados con mayor éxito de la producción. No debemos olvidar que el IC está relacionado con el consumo de pienso. Nuestros resultados

mostraron que los animales con una menor densidad tuvieron un mayor consumo de pienso frente a los de mayor densidad (0,920 vs. 1,047) y sin embargo la tasa de conversión como se ha explicado anteriormente fue menor. Estos hallazgos sugieren que los pollos alojados en densidades mayores pueden tener una mayor restricción de movimiento, lo que reducirá el consumo de pienso, que provoca un menor peso corporal al final de la fase inicial y que repercute de forma directa sobre el IC empeorando su valor, tal y como también señalan Madlindi *et al.* (2018). Malone *et al.* (1980) determinaron que la conversión de alimento se mejoró a medida que el espacio de alimentación se incrementó de 1,8 a 2,3 cm/ave a los 27 días para las aves de 0,75 kg, pero a los 54 días de edad las aves de 2,1 kg no difirieron en la conversión de alimento en función de la densidad de crianza.

Teniendo en cuenta estos resultados parece lógico plantearse que los rendimientos de canal de los animales criados en densidades más altas serán menores y con ello los rendimientos económicos obtenidos. El estudio realizado por Dozier *et al.* (2006) mostró que el peso de la canal disminuyó linealmente a medida que aumentaba la densidad de población calculada. Con cada aumento unitario de la densidad de población calculada (5 kg de peso final/m²), se estimó que el peso de la canal disminuyó 36 g en función del análisis de tendencias. Esto coincide con lo publicado por Madilindi *et al.* (2018) que mostraron una relación indirecta proporcional entre la densidad de la población y el porcentaje de la canal de las aves. Los autores observaron que en densidades medias y bajas los porcentajes de la canal, la pechuga, el muslo y las alas fueron significativamente más altos, mientras que una mayor densidad de crianza dio como resultado un porcentaje de canal significativamente más bajo. Por otro lado, estudios previos (Feddes *et al.*, 2002; Beg *et al.*, 2011; Rambau *et al.*, 2016) informaron que los porcentajes de muslo, muslo y cuello aumentaron a medida que aumentaba la densidad de la población. Ligaraba *et al.* (2016), sin embargo, no observaron efectos significativos de la densidad de población en todos los rasgos de canal medidos, mientras que Siaga *et al.* (2017) observaron efectos significativos solo para las pechugas. Estas discrepancias podrían atribuirse a otros factores, como la temporada en que se criaron las aves, los genotipos y el régimen de alimentación.

Estudios previos también han relacionado la densidad de población con el mayor desarrollo de las vísceras. Madilindi *et al.* (2018) mostraron un incremento significativamente en los porcentajes de molleja e hígado con respecto al total de la canal y porcentajes de peso medio más altos para estas vísceras en aves criadas en las densidades más altas. Probablemente, esto se debe a que, a densidades altas de población, el hacinamiento hace que las aves consuman alimento de forma más rápida. Como resultado, la molleja se hace más grande o se desarrolla más rápido para moler grandes cantidades de alimento en un corto período de tiempo. Sin embargo, la densidad de población no tuvo impacto sobre el porcentaje de corazón. Ligaraba *et al.* (2016), Rambau *et al.* (2016) y Siaga *et al.* (2017) llegaron a conclusiones similares, es decir, que la densidad de población no tuvo efecto en la proporción de corazón.

Este planteamiento de mejora sobre las partes nobles de la canal, unido a la repercusión positiva sobre la mejoría en el rendimiento productivo asociado

a densidades de crianza menores puede llevar a los productores a adoptar las medidas planteadas en el presente estudio.

CONCLUSIONES

La disminución de la densidad de población desde 35 pollos/m² (D1) a 11,25 pollos/m² (D2) provocó diferencias estadísticamente significativas sobre los distintos parámetros que se enumeran a continuación:

- sobre el peso final de los pollos (p5) siendo un 59 % mayor en los pollos que habían sido criados con una densidad menor (D1)
- en la velocidad de crecimiento medida a través de la ganancia media diaria total (GMDt 0-30 d) incrementándola en 54,7 % en los pollos criados en D2.
- el consumo de pienso, incrementándose en un 13,8 %, mientras que el valor del IC se redujo en un 42,3 % en los pollos que habían sido criados en una densidad menor (D2)

Nuestro estudio sugiere que la reducción de la densidad por debajo de la establecida en el reglamento para la producción ecológica, influiría de forma positiva sobre el crecimiento y peso final de los pollos.

SECCIÓN 2: Efecto de la temperatura sobre el rendimiento productivo durante el primer mes de vida en pollos de crecimiento medio-lento bajo condiciones de producción ecológica.

RESUMEN

El estudio evaluó el efecto del descenso de la temperatura durante la primera semana de vida sobre el rendimiento productivo de los pollos en producción ecológica. Se utilizaron un total de 240 pollos RedBro machos de un día de edad, con dos repeticiones (n=120), dividido en dos tratamientos (60 pollos/grupo). Los dos tratamientos experimentales consistieron en cambios sobre la temperatura de crianza. En el grupo de control (T1) los pollitos se criaron a 35°C la primera semana, mientras que en el grupo de estrés por frío (T2) los pollitos se criaron a 25 °C durante la primera semana (10 °C menos con respecto al control). El resto de semanas ambos grupos compartieron las mismas condiciones de temperatura; 30 °C la segunda semana, 25 °C la tercera semana y 20°C la cuarta semana. El peso corporal final (0,680 vs. 0,386 kg), y la ganancia media diaria (0,023 vs. 0,012 kg), y el consumo (1,106 vs. 0,934 kg) disminuyeron significativamente con el estrés por frío (T2), mientras que se incrementaron de forma significativa la mortalidad y la relación de conversión de alimento (2,004 vs. 3,566) ($p < 0,01$). Nuestro estudio sugiere que las condiciones ambientales en los sistemas de producción de aves de corral durante el primer mes de vida son de gran importancia. Por eso, la búsqueda de alternativas que minimicen los efectos negativos de las variaciones de temperatura debe resultar una prioridad para estos sistemas de producción.

Palabras clave: temperatura, pollos ecológicos, crecimiento.

INTRODUCCIÓN

La temperatura es uno de los factores más importantes que condiciona toda la vida productiva del pollo. Cuando los animales se encuentran fuera de la zona de confort se produce una movilización de recursos para alcanzar la homeostasis, de tal forma que una parte de la energía consumida en alimentación, que podría ser utilizado para la producción, se desvía para el mantenimiento de sistema termorregulador (Casuce *et al.*, 2013). Los estudios publicados han mostrado efectos negativos sobre la producción de pollos tanto cuando se incrementa la temperatura o se disminuye por debajo del rango de termoneutralidad (Zhang *et al.*, 2012; Tang *et al.*, 2013; Bhaduria *et al.*, 2016; Qureshi *et al.*, 2018).

En el entorno natural, el estrés por frío es uno de los desafíos más destacados, especialmente en las regiones frías. Estudios anteriores han mostrado que el estrés por frío afecta de forma negativa a la salud, al bienestar y al desarrollo de los pollos; asociándose con un retraso en el crecimiento de aquellos animales que se someten a estrés por frío, así como a un incremento de las necesidades energéticas (Scanen *et al.*, 2016). Se ha sugerido que la selección genética de los pollos producidos en condiciones industriales ha influido de forma negativa en cuanto a la resistencia a las condiciones adversas (Yahav *et al.*, 2005), considerándose con mayor tolerancia los pollos de razas rústicas o crecimiento lento.

Nuestro estudio evaluó el efecto sobre el desarrollo productivo del descenso de la temperatura durante la primera semana de vida y la posterior recuperación de la misma en las sucesivas semanas de duración del experimento, en pollos crecimiento medio-lento utilizados en sistemas de producción ecológica.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Animales y diseño del experimento

Se utilizaron un total de 240 pollitos machos (*Gallus gallus domesticus*) de un día de edad del híbrido de crecimiento medio-lento RedBro, subdivididos en dos repeticiones (n=120); que llegaron sexados de la granja de origen, con pesos y tamaños similares. Los animales fueron criados en una granja privada situada en el municipio de Venialbo, en la provincia de Zamora, España (41°22'36.6"N 5°32'30.9"W). El periodo de estudio abarcó la fase inicial de crecimiento de los pollos (0-30 días).

En cada una de las repeticiones, a la llegada a la granja los pollitos fueron divididos de forma aleatoria en dos grupos T1 (control) (n=60) y T2 (experimental) (n=60). Los animales fueron examinados de forma previa a la entrada en la instalación para detectar cualquier anomalía. Los pollitos de cada grupo fueron identificados a su llegada de forma individual y alojados en dos gallineros independientes dentro de la misma instalación.

Los dos tratamientos experimentales consistieron en cambios sobre las condiciones de temperatura del alojamiento. En el grupo de estrés por frío (T2=25 °C) los pollitos fueron criados durante la primera semana con 10 °C menos que los animales del grupo control (T1=35 °C). Para el resto de semanas, ambos grupos compartieron las mismas condiciones de temperatura en la segunda semana 30 °C, en la tercera semana 25 °C y en la cuarta semana hasta el final del ensayo 20 °C.

Condiciones del alojamiento

Durante el estudio los animales fueron alojados sobre suelo con cama de paja y a una densidad de 11,25 pollos/m². En cuanto a la iluminación, los pollitos tuvieron 11 horas de luz con una intensidad de 250 lux.

Alimentación

La base de la alimentación para todos los grupos fue un pienso compuesto certificado ecológico, confeccionado por una fábrica de piensos autorizada y elaborado a base de cereales (maíz, cebada, trigo), soja no OGM, guisantes y corrector autorizado (ver Tabla 2.1). Este pienso (EM 2.461,87 Kcal/kg; PB 21,45 %), cumple plenamente con los requisitos de nutrientes para pollos camperos de crecimiento lento (0-28 días), de acuerdo a las Normas FEDNA 2018 (Santomá *et al.*, 2018). El acceso al agua de bebida y el alimento fue *ad libitum*.

Control del desarrollo

Cada semana, los pollos fueron pesados de forma individual, además de controlar el consumo de pienso y el estado general de los mismos. Se registraron los pesos de los animales a la llegada a la granja (p1), mientras que los pesos restantes (p2, p3 p4, p5) se registraron semanalmente.

Se calcularon las ganancias medias diarias (GMD) entre los diferentes pesos registrados, de tal manera que GMD2-1 corresponde a la GMD del intervalo entre el p1 y p2, GMD3-2 del intervalo p2 y p3, GMD4-3 de los pesos p3 y p4, GMD5-4 de los pesos p5 y p4; finalmente GMDt es la ganancia media diaria entre el p1 y el p5 correspondiente al periodo total del experimento.

Se registró el consumo de pienso durante la duración del experimento para cada gallinero, permitiendo calcular el consumo total y posteriormente el IC. El IC se calculó para el periodo total de duración del estudio.

Análisis estadístico

Para estudiar el efecto del factor temperatura, se empleó el análisis de varianza de una vía (ANOVA) sobre el peso de cada semana, GMD consumo e IC. Para la variable mortalidad, se utilizó la prueba Chi².

Se realizó la prueba t de Student para muestras relacionadas en todos los grupos objeto de estudio (T1 y T2) comparando la diferencia entre pesadas (P1, P2, P3 y P4), para comprobar el crecimiento de los animales.

En todos los casos, se consideró la existencia de diferencias significativas cuando $p < 0,05$.

- Prueba t de Student

Se observó que independientemente del grupo (T1 y T2), hubo incremento significativo de peso ($p < 0,001$) en todas las pesadas a lo largo del experimento (Tabla 2.7 y 2.8). Los resultados se expresan como la diferencia entre la primera pesada y la posterior para los distintos intervalos, siendo todos los valores negativos asociados a este incremento.

Tabla 2.7. Prueba t de Student de muestras emparejadas para las pesadas en el grupo T1

		Crecimiento (kg)	t	p
Par 1	p1-p2	-0,088 ± 0,002	-40,400	***
Par 2	p2-p3	-0,155 ± 0,006	-27,420	***
Par 3	p3-p4	-0,264 ± 0,009	-30,950	***
Par 4	p4-p5	-0,265 ± 0,007	-36,000	***

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * $p < 0,05$ ** $p < 0,01$ *** $p < 0,001$

Tabla 2.8. Prueba t de Student de muestras emparejadas para las pesadas en el grupo T2

		Crecimiento (kg)	t	p
Par 1	p1-p2	-0,035 ± 0,005	-7,560	***
Par 2	p2-p3	-0,088 ± 0,010	-8,750	***
Par 3	p3-p4	-0,127 ± 0,012	-10,710	***
Par 4	p4-p5	-0,079 ± 0,014	-5,560	***

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05 ** p <0,01 *** p <0,001

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los ambientes fríos pueden afectar dramáticamente la salud, el rendimiento y el bienestar de los pollos. Nuestro estudio mostró que, en términos de temperatura, la disminución de la misma por debajo del rango de termoneutralidad es un factor muy importante que afecta el desarrollo productivo de los pollos y, posteriormente, a su crecimiento, y condiciones de salud.

a. Pesos

Los pesos obtenidos en función de la temperatura de crianza se observan en la Tabla 2.9. En la primera pesada (p1) los pesos de los animales fueron similares para ambos grupos, no observándose diferencias significativas ($p > 0,05$) entre ambos, lo que confirma la homogeneidad inicial de los dos grupos de tratamiento.

Tabla 2.9. Pesos (kg) para las distintas pesadas de los pollos en los dos grupos de tratamiento (T1 y T2)

Peso	T1	T2	p
p1	0,051 ± 0,001	0,048 ± 0,002	ns
p2	0,130 ± 0,003	0,083 ± 0,005	**
p3	0,257 ± 0,007	0,179 ± 0,012	**
p4	0,460 ± 0,017	0,307 ± 0,019	**
p5	0,680 ± 0,024	0,386 ± 0,025	**

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05 ** p <0,01 *** p <0,001

En la Figura 2.3 se observa como a partir de la segunda pesada (p2) los pesos comienzan a diferenciarse en función del grupo. Se observó un incremento significativo ($p < 0,01$) del peso para los animales del grupo control (T1) frente al que había sido criado con menor temperatura (T2) (0,130 vs. 0,083 kg). Estas diferencias se mantuvieron en las restantes pesadas (p3, p4 y p5) (p3: 0,257 vs. 0,179 kg) (p4 0,460 vs. 0,307 kg) (p5: 0,680 vs. 0,386 kg). Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por Ipek *et al.* (2015) y quienes hallaron pesos inferiores en aquellos animales que se habían sometido a estrés por frío. Si los pollitos se encuentran en un ambiente frío en lugar de un ambiente cálido, una mayor parte de la ingesta de nutrientes debe ser usada para generar calor afectando adversamente al peso final (Ipek *et al.*, 2015). Frente a esto y Blahová

et al. (2007) no hallaron variaciones en el peso final de los animales que se habían sometido estrés por frío.

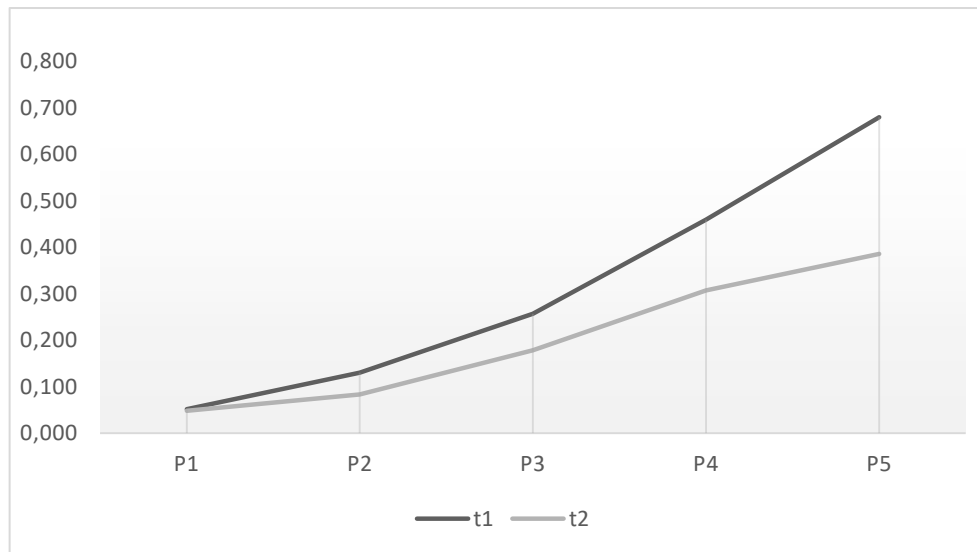


Figura 2.3. Evolución (kg) del peso a lo largo del experimento en los dos grupos (T1 y T2)

b. Ganancia Media Diaria (GMD)

De forma paralela a lo ocurrido para el peso se observaron tendencias similares en la GMD durante todo el periodo de estudio, que quedan reflejados en la Tabla 2.10. Estos resultados se muestran como el peso adquirido (kg) por día (d) para cada uno de los intervalos contemplados en el experimento (kg/d).

Los animales del grupo control (T1) tuvieron una GMD significativamente mayor ($p < 0,01$) para todas las etapas de vida (GMD 2-1, GMD 3-2, GMD 4-3, GMD 5-4). La Tabla 2.10 muestra que hubo una falta de homogeneidad en la velocidad de crecimiento durante todo el experimento entre ambos grupos para los distintos intervalos; mientras que en el grupo T1 el valor de GMD aumentó progresivamente a medida que lo hacía la edad de los animales, no ocurrió lo mismo para el grupo T2, donde se observa que la GMD4-3, fue superior a la del periodo GMD5-4 (0,018 vs. 0,011 kg/d). Así mismo, se observó que la GMD 5-4 fue el periodo en el que más diferencias se observaron entre los dos grupos estudiados para el valor de GMD (0,032 vs. 0,011 kg/d). Cabe destacar, que una vez que se recuperaron las condiciones de temperatura adecuadas (en la segunda semana), en el grupo T2 no se alcanzaron los valores de la velocidad de crecimiento observados para el grupo T1 en los sucesivos periodos (GMD 3-2, GMD 4-3, y GMD 5-4).

Tabla 2.10. Parámetros de GMD (kg/d) en los distintos intervalos para los grupos de estudio (T1 y T2)

GMD	T1	T2	p
GMD2-1	0,011 ± 0,000	0,005 ± 0,001	**
GMD3-2	0,018 ± 0,001	0,013 ± 0,001	**
GMD4-3	0,029 ± 0,002	0,018 ± 0,002	**
GMD5-4	0,032 ± 0,001	0,011 ± 0,002	**
GMDt	0,023 ± 0,001	0,012 ± 0,001	**

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05 ** p <0,01

De igual forma a lo mostrado para los intervalos de GMD, el valor de GMD total fue significativamente mayor para aquellos animales que no habían sido sometidos a estrés por frío (T1) (0,0225 vs. 0,0121 kg/d), lo que supone un incremento de la GMD de un 53,7 %. Nuestros resultados coinciden con lo expuesto Madilindi *et al.* (2018), quienes afirman que la repercusión de las condiciones ambientales sobre el peso se mantiene durante toda la vida productiva del pollo y se acentúa al final del periodo de crecimiento, haciendo las diferencias entre ambos grupos cada vez más evidente.

c. Consumos e Índice de Conversión (IC)

La Tabla 2.11 recoge los resultados obtenidos para el consumo de pienso (kg/duración total del experimento) el IC y la mortalidad (expresada en % sobre el total de animales) para cada uno de los grupos estudiados.

Tabla 2.11. Parámetros de consumo, IC y mortalidad para los grupos de estudio (T1 y T2)

	T1	T2	p
Consumo (kg)	1,106 ± 0,005	0,934 ± 0,030	***
IC	2,004 ± 0,111	3,566 ± 0,432	**
Mortalidad (%)	0,000 ± 0,000	36,700 ± 0,070	***

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05 ** p <0,01 *** p <0,001

Nuestros resultados mostraron una reducción en el consumo de pienso (kg) de forma significativa (p <0,001) en los animales sometidos a estrés por frío (T2) (1,106 vs. 0,934 kg). Esto supone una reducción del consumo con respecto al control (T1) de un 15,55 %. El frío extremo podría influir en el sistema nervioso y, por lo tanto, afectar la ingesta de alimento. La razón de estos efectos es que el estrés generado por el frío altera el sistema neuroendocrino en aves de corral, por la activación del eje hipotálamo-hipófisis-suprarrenal, resultando en niveles elevados de corticoesterona (Quinteiro-Filho *et al.*, 2012). El incremento de los niveles de corticoesterona provoca efectos adversos sobre el aparato digestivo, utilización de nutrientes y digestibilidad de los mismos, que posteriormente tienen efectos negativos sobre el rendimiento productivo (Quinteiro-Filho *et al.*, 2012).

Así mismo, se halló un incremento significativo (p <0,01) para el IC en el grupo sometido a estrés por frío durante la primera semana (T2) (3,566 vs. 2,004). Olfati *et al.* (2018) hallaron un incremento del IC (+22,47 %) en aquellos animales que habían sido sometidos a estrés por frío desde el día 22 hasta el 42 de vida. El incremento del valor obtenido en nuestro estudio (43,80 % mayor con

respecto al control (T1)) podría relacionarse con el efecto negativo que tiene el incremento de corticoesterona. La liberación de la corticoesterona disminuye la ingesta de alimentos, y a su vez disminuye la altura de las vellosidades en el intestino, y provoca una caída en la utilización de nutrientes, digestibilidad aparente de proteínas e integridad del epitelio intestinal (Ha *et al.*, 2007). Todo ello provoca que los pollitos criados en temperaturas más frías no solo tengan un peso significativamente menor, sino que, además, la eficiencia de conversión del alimento sea menor.

d. Mortalidad

En cuanto a la mortalidad, el grupo control no registró ninguna baja durante la duración del experimento (Tabla 2.11). Frente a esto, se observaron diferencias significativamente mayores ($p < 0,001$) en el grupo expuesto a la temperatura menor durante la primera semana (T2); registrando un 36,7 % más de mortalidad con respecto al control. Similares resultados fueron los obtenidos por Madlindi *et al.* (2018) que encontraron un incremento de mortalidad en aquellos grupos que se habían sometido a estrés por frío. Esto puede explicarse debido a que los cambios fisiológicos producidos como consecuencia del estrés que suprimen el sistema inmunológico y aumentan la penetración de las bacterias a través del revestimiento intestinal. El estrés térmico ejerce efectos negativos sobre el equilibrio redox, lo que exacerba la producción de especies reactivas de oxígeno (Feng *et al.*, 2008) contribuyendo a la permeabilidad del revestimiento intestinal a las bacterias. Quinteiro-Filho *et al.* (2017) indicaron que el incremento de los niveles de corticoesterona derivados de un estrés térmico provocó un aumento de la inflamación y la translocación de *Salmonella entérica* en pollos. Esto se encuentra de acuerdo con lo descrito por Bhadauria *et al.* (2014) que han asociado el estrés térmico con grandes pérdidas económicas asociadas no solo al retraso del crecimiento sino también al incremento de la morbilidad y mortalidad que tiene asociado.

Se ha relacionado que las temperaturas frías son los principales desencadenantes de la ascitis durante la producción de pollos que conlleva pérdidas de alrededor de 1.000 millón de dólares anuales en todo el mundo. Este incremento provoca un aumento del requerimiento de oxígeno, el gasto cardíaco y el flujo sanguíneo pudiendo causar aumento de la sobrecarga de presión arterial pulmonar en el ventrículo derecho. Si los pollitos se enfrían antes del día 6, puede afectar a su tasa metabólica durante varias semanas, aumentar la incidencia de ascitis y consecuentemente la mortalidad (Ipek *et al.*, 2015). Esto concuerda con los resultados obtenidos en nuestro estudio.

En comparación con otros híbridos, las líneas modernas de pollos de engorde (broiler de crecimiento rápido) utilizados en los sistemas de producción industrial son particularmente sensibles a modificaciones sobre la temperatura, debido a que su rápido crecimiento, alto peso corporal y buena conversión de alimento aumentan la producción de energía térmica, que inhibe la adaptación del cuerpo a condiciones térmicas adversas (Skomorucha *et al.*, 2017). Nuestro estudio sugiere, que incluso en híbridos de crecimiento lento, que son considerados animales con mayor rusticidad y mejor adaptados al medio (Yahav *et al.*, 2005), el descenso de la temperatura de crianza constituye un factor

estresante que repercute de forma negativa sobre el peso final, GMD e IC, e incrementa de forma notable la mortalidad.

Los cambios en la temperatura, por breves que sean, pueden causar un importante retraso sobre el periodo total de crecimiento de los animales criados bajo este sistema productivo. Si tenemos en cuenta que bajo el sistema de producción ecológica los animales salen a matadero con una edad media de 4-5 meses para alcanzar el peso medio de venta; cambios sobre las condiciones ambientales podrían retrasar la fecha de salida a sacrificio aumentando el número de días presentes en la explotación y con ello el consumo de pienso lo que, consecuentemente, aumentaría las pérdidas económicas ocasionadas.

CONCLUSIONES

Nuestros resultados evidencian que la reducción de la temperatura (10 °C menos con respecto a la temperatura control) durante la primera semana de vida supone un factor estresante para los pollitos.

Esto repercute de forma negativa sobre el peso final (-56,76 %), la GMD (-53,7 %), la mortalidad (+36,7 %), el consumo (-15,55 %) y el IC (+43,80 %). Nuestro estudio mostró que, aunque la disminución de la temperatura se produzca únicamente durante la primera semana y posteriormente se recuperen las condiciones normales, este efecto no se contrarresta una vez que se elimina el factor estresante, sino que se mantiene durante todo el periodo inicial de vida de los pollitos (1-30 d).

CAPÍTULO 3

Efecto de las condiciones ambientales y el tipo de híbrido utilizado sobre el crecimiento y la calidad de la carne de pollos en sistema de producción ecológica

RESUMEN

En nuestro experimento, se evaluó el efecto de las condiciones ambientales durante el periodo de crianza y la estirpe, así como la interacción entre ambas sobre el desarrollo productivo de los animales y la calidad de la carne. Se estudiaron de forma individual un total de 160 pollitos, desde el primer día de vida hasta el sacrificio (120 d). Los pollitos fueron clasificados atendiendo a dos criterios: por un lado, la estirpe (ColorYield y RedBro) y por otro el periodo de crianza (P1 y P2). Por cada periodo de crianza se utilizaron un total de 80 pollos (8 repeticiones con un total de 10 pollos/grupo). Cada periodo a su vez, contó con las dos estirpes. Siendo un total de 40 animales de cada estirpe por cada periodo (4 repeticiones con un total de 10 pollo/grupo). Las características del periodo de crianza se definieron en base a la información proporcionada por el SiAR; presentando el P1 condiciones ambientales más frías con respecto al P2. Todos los animales recibieron el mismo pienso de arranque (1-30 d) y de crecimiento (30-sacrificio). Durante el primer mes, los animales permanecieron en condiciones controladas y a partir del día 30 tuvieron acceso al exterior. Alcanzados los 120 días, los animales fueron llevados a un matadero certificado para carne ecológica donde fueron sacrificados. Un total de 48 pollitos fueron seleccionados de forma aleatoria, pertenecientes a los distintos periodos y estirpes, posteriormente, se extrajeron las pechugas (*Pectoralis major*) para realizar el análisis de calidad y el registro del espectro NIRS. La estirpe no tuvo efectos significativos sobre el peso al sacrificio (p120) de los animales, GMDt, e IC total; mientras que se observó un incremento significativo del consumo (C1-120) en la estirpe RB. El periodo de crianza en condiciones ambientales más frías (P1) incrementó de forma significativa el peso final (P120), GMDt, y el consumo (1-120).

A partir de los resultados obtenidos, se evaluó el efecto que tenía peso al nacimiento sobre el desarrollo final de los pollos de crecimiento medio. Se observó que cuando los pesos del primer día (p1), son significativamente diferentes ($p < 0,01$) en un grupo de animales; si los pollitos son criados bajo condiciones ambientales adecuadas, son capaces de recuperar y alcanzar pesos similares al cabo 30 días (p30) hasta el sacrificio (p120), frente a los que inicialmente tuvieron un peso mayor.

Los resultados obtenidos en la primera parte del experimento, permitieron realizar un modelo predictivo para el cálculo del peso al sacrificio (p120) en función del periodo de crianza (P1 y P2). Como el valor de R obtenido fue bajo, se procedió a realizar un modelo de regresión múltiple (RTA) que permitiera obtener ecuaciones con una mayor eficacia de predicción para los parámetros de p120, consumo total e IC en función del periodo de crianza.

Con respecto a la calidad, el principal efecto de la estirpe fue un contenido significativamente mayor para la humedad (%) en los animales RedBro, y un contenido significativamente menor ($p < 0,05$) para las cenizas (%) frente a los animales ColorYield. El periodo de crianza más cálido (P2) disminuyó de forma significativa ($p < 0,05$) el contenido en humedad, e incrementó el valor de pH y enrojecimiento (a^*). La composición individual de ácidos grasos de la carne no se vio afectada por el periodo de crianza, sin embargo, si se produjeron modificaciones sobre la composición total de ácidos grasos; los pollitos que

habían sido criados en el periodo más cálido, disminuyó de forma significativa ($p < 0,01$) el contenido en SFA, e incrementó ($p < 0,05$) el contenido en PUFA y n-6 en la pechuga. La tecnología NIRS no tuvo capacidad para clasificar de forma correcta las muestras atendiendo a los criterios expuestos. Nuestro estudio plantea que la interacción entre ambos factores no modifica de forma sustancial la calidad de la carne, lo que plantea una ventaja para el productor ya que le permite obtener resultados similares independientemente de la época de crianza o la estirpe utilizada.

Palabras clave: *estación, híbrido de crecimiento lento, crecimiento, calidad de carne*

INTRODUCCIÓN

La atención de los consumidores a los alimentos saludables y las condiciones de bienestar de los animales ha favorecido el sistema de producción ecológica que se supone un método de producción respetuoso con el medio ambiente, que mantiene a los animales en buen estado de salud y con altos estándares de bienestar (Sundrum, 2006; Fanatico *et al.*, 2008). El número de toneladas de carne de pollo producida en España en sistemas ecológicos ha incrementado de forma notable en los últimos años, aumentando tanto en el censo como en el número de explotaciones presentes (MAPA, 2018). Existe una previsión de crecimiento en el consumo de productos ecológicos, por lo que la producción de pollos ecológicos supone una oportunidad de crecimiento para el sector.

Muchos factores afectan el crecimiento y el rendimiento de los pollos, como el genotipo, la edad, el sexo, la dieta, la densidad, el entorno, el ejercicio y la ingesta de pastos que difieren enormemente de los contemplados en la producción industrial de pollos de engorde (Gordon *et al.*, 2002). Una mayor comprensión de estos factores y sus interacciones ayudará a mejorar el rendimiento en la producción en sistemas de campo abierto.

La información sobre ensayos con producción de pollos ecológicos de acuerdo con la legislación de la UE es limitada (Katogianni *et al.*, 2008) y la gran mayoría de los estudios previos (Castellini *et al.*, 2002; Fanatico *et al.*, 2005; Katogianni *et al.*, 2008) han evaluado el uso de híbridos comerciales de crecimiento rápido frente al uso de líneas puras o estirpes de crecimiento lento. Esto se debe a que la legislación de EEUU permite el uso de estirpes de crecimiento rápido, frente a las normas europeas que establecen el uso de estirpes de crecimiento medio o lento (razas puras) en los sistemas de producción ecológica.

Se sabe que los pollos de estirpes autóctonas poseen características deseables en las producciones de campo abierto, como resistencia a algunas enfermedades y mayor rusticidad ante condiciones ambientales adversas (Fanatico *et al.*, 2005). Los pollos de crecimiento lento poseen una buena aptitud para el pastoreo, lo que mejora la ingesta alimentaria de sustancias bioactivas (vitaminas, antioxidantes y ácidos grasos) contenidas en el forraje (Dal Bosco *et al.*, 2012). En comparación con los pollos de rápido crecimiento, las estirpes de pollos autóctonas y sus híbridos muestran un menor aumento de peso y una

menor proporción de músculo pectoral en la canal; pero, sin embargo, su carne tiene muchas características de calidad valoradas por los consumidores actuales (Fanatico *et al.*, 2005; Sokołowicz *et al.*, 2016).

Frente a las aparentes ventajas de la inclusión de estas estirpes en la producción de campo abierto, el uso de estirpes puras o autóctonas a menudo se ve cuestionado debido a los bajos rendimientos productivos que tienen estas estirpes. Por ello, el uso de híbridos de crecimiento medio-lento, supone una alternativa para los productores del sector que les permite solventar las carencias productivas que pueden presentar las estirpes de crecimiento lento puras. Sin embargo, los estudios publicados sobre las estirpes de crecimiento medio-lento disponibles para su uso en los sistemas de producción ecológica presentan una información limitada.

El control de las condiciones ambientales es una de las grandes diferencias de la producción industrial frente a la alternativa. El confort térmico de la producción de pollos es fundamental ya que altas o bajas temperaturas pueden afectar a su comportamiento, así como al rendimiento y la producción. Las variaciones térmicas esperadas como consecuencia del cambio climático representan un desafío para la producción avícola de campo abierto donde pequeñas variaciones en la temperatura ambiente provoca efectos negativos sobre su desarrollo productivo (Field *et al.*, 2014). Los altos valores de temperatura del aire y humedad relativa, principalmente en el verano de estos últimos años, generan condiciones de incomodidad térmica casi permanente a las aves; lo que dificulta su desempeño productivo y constituye uno de los principales problemas que afectan a su producción (Bhadauria *et al.*, 2014). Muchos factores meteorológicos pueden afectar marcadamente al intercambio de calor corporal de los animales y, por lo tanto, a sus requerimientos energéticos, repercutiendo sobre los rendimientos productivos de los animales (Peana *et al.*, 2017).

Es por ello que el propósito del presente estudio es evaluar el efecto de las condiciones ambientales de crianza y del uso de dos genotipos de crecimiento medio-lento sobre el crecimiento y la calidad de la carne de los pollos utilizados.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Animales y diseño del experimento

Un total de 160 pollos (*Gallus gallus domesticus*) machos de un día de edad de las estirpes de crecimiento intermedio ColorYield (CY) y RedBro (RB) fueron seleccionados para el estudio. En ambos casos, proceden del cruce entre una hembra de crecimiento rápido (JA57Ki) con un macho de crecimiento lento REDJA Ki para el híbrido RedBro, y CY57Ki para el ColorYield. Este ensayo se llevó a cabo en una granja privada situada en Venialbo, Zamora, España (41°22'36.6"N 5°32'30.9"W).

Los pollitos fueron agrupados en base a dos criterios, por un lado, la estirpe utilizada (ColorYield y RedBro) y por otro el periodo climático de crianza (P1 y P2). Se asignaron 80 pollitos para cada periodo (P1 y P2). Cada lote de

pollitos estuvo constituido por 10 animales, considerándose cada lote como una repetición; esto supone un total de 8 repeticiones para cada periodo.

A su vez, cada periodo tuvo presente las dos estirpes (ColorYield y RedBro). Se obtuvieron un total de 40 pollitos para cada estirpe y periodo. Cada lote de animales estuvo compuesto por 10 pollitos; lo que supone un total de 4 repeticiones. El estudio englobó desde el día 1 de vida de cada animal hasta su sacrificio (120 días). La Figura 3.1 refleja de forma gráfica la distribución de los pollitos para el diseño del experimento.

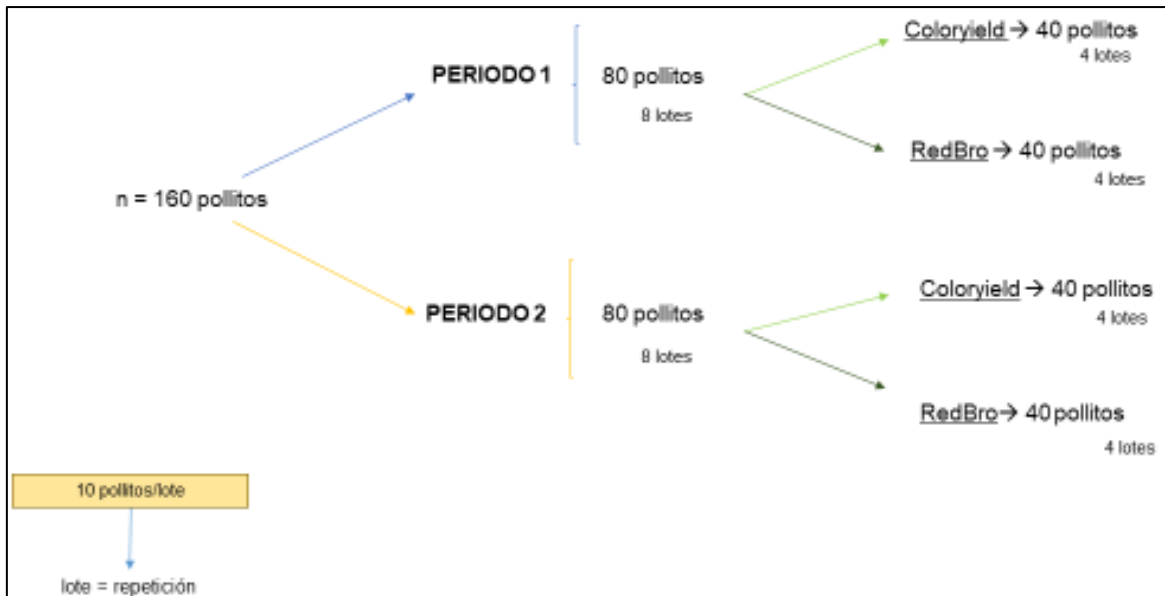


Figura 3.1. Representación gráfica de la distribución y diseño del experimento

Periodos climáticos

El periodo climático (P1 y P2) se determinó en base a las condiciones que afectaron a los pollos desde el segundo mes de vida (que es cuando los animales tuvieron acceso al exterior) hasta su sacrificio (120 d).

Los datos climatológicos obtenidos correspondientes a los dos periodos quedan recogidos en la Tabla 3.1. En ella, se refleja la media de todos los valores climatológicos obtenidos proporcionada por la base de la red de estaciones agrometeorológicas del Sistema de información Agroclimática para el Regadío (SiAR).

Como se observa en la Tabla 3.1, en el grupo P2 se registró un incremento sobre los valores de temperatura media (+7,54 °C), temperatura máxima diaria (+9,49 °C), temperatura mínima diaria (+5,35 °C) y en la radiación (+3.4 Mj/m²); mientras que se produjo un descenso de los valores de humedad relativa media (-14,55 %), velocidad del aire (-0,5 m/s) y precipitaciones (-0,77 mm) con respecto al grupo P1. Los valores que se muestran se corresponden con las diferencias halladas para cada uno de los parámetros en ambos periodos (P2-P1).

Tabla 3.1. Periodos de estudio (P1 y P2). Datos proporcionados por el SiAR

	TMedia (°C)	TMáx (°C)	T.Mín (°C)	TMáx-TMín (°C)	HMedia (%)	HMáx (%)	HMín (%)	Vel. Viento (m/s)	VelMáx (m/s)	Radiac (Mj/m ²)	Precipit (mm)
P1	9,32	15,57	3,61	11,96	75,14	94,38	48,92	2,05	7,09	15,56	1,64
P2	16,86	25,06	8,96	16,10	60,59	87,91	33,04	1,55	6,23	18,97	0,87

P1: periodo 1; P2: periodo 2.

TMedia: Temperatura Media; TMáx.: Temperatura máxima. TMáx-TMín: Diferencia entre la temperatura máxima y mínima. HMedia: Humedad relativa media. HMáx: Humedad máxima. HMín: Humedad Mínima. VelViento: Velocidad del viento. VelMáx. Velocidad máxima del viento. Radiac: Radiaciones: Precipit: Precipitaciones

Se observa por tanto que el periodo de crianza P2 fue un periodo más cálido, que podría relacionarse con las estaciones de primavera-verano, frente al P1, que se correspondería con las estaciones climatológicas de otoño-invierno. Ambas situaciones son habituales en la crianza de pollos en sistemas de producción ecológica.

Condiciones del Alojamiento

Durante el primer mes de vida, los animales permanecieron en gallineros de recepción limpios y desinfectados, con una densidad de 35 pollos/m² utilizando paja de cebada como yacija y sin acceso al exterior. La temperatura en el interior se mantuvo a 35 °C la primera semana, 30 °C la segunda y 25 °C la tercera y cuarta semana, contando con iluminación natural.

Una vez que los animales alcanzaron los 30 días de vida, se abrieron las compuertas para permitir el acceso a los parques exteriores durante las horas de luz; las cuales variaron con la época natural del año, sin suplementarse con luz artificial en ningún momento.

Alimentación

Todos los pollitos fueron alimentados con dos piensos diferentes durante el estudio. El primer mes de vida recibieron un pienso de arranque (EM 2.461,87 Kcal/kg; PB 21,45 %), y a partir del día 30 hasta el sacrificio (120 d) un pienso de crecimiento-acabado (EM 2.179 Kcal/kg; PB 15,94 %). En ambos casos, estos piensos fueron formulados de acuerdo con las Normas FEDNA 2018 (Santomá *et al.*, 2018) para pollitos de crecimiento lento y en cumplimiento con Real Decreto 833/2014 para la alimentación de animales ecológicos. El agua y el alimento fueron administrados *ad libitum*.

La Tabla 3.2 muestra la composición porcentual en ingredientes de ambos piensos utilizados en el experimento. La Tabla 3.3 refleja el resultado del análisis de nutrientes químicos de ambos piensos, analizados mediante procedimientos estándar (AOAC, 1995): contenido de agua por secado a 105 °C durante 4 horas; contenido de proteína por el método Kjeldahl; contenido de grasa por extracción Soxhlet; y el contenido de cenizas - por combustión.

Tabla 3.2. Composición nutricional de los piensos utilizados en el estudio (expresado como porcentaje de inclusión de las materias primas en el pienso)

Ingredientes (%)	Arranque	Crecimiento-acabado
Soja-44 no OGM	35,19	
Maíz	30,00	
Trigo	12,87	30,00
Cebada	9,84	30,00
Guisante primavera	8,00	30,00
Fosfato bicálcico	1,93	
Carbonato cálcico	0,82	
Corrector ecológico ¹	0,50	2,50
Acidificante	0,30	
Sal	0,28	
Bicarbonato	0,16	
Complemento enzimático	0,10	
Girasol		7,50

¹Corrector Ecológico (Nutega Coslada, Madrid) Valores dados (g) por kg de pienso: 1,23 Calcio; Materia seca 4,87; Valores dados (mg) por kg de pienso. E5 Manganeso (óxido de manganeso): mg/kg 65,0; E6 Zinc (óxido de zinc) 37,0; E4 Cobre (sulfato cúprico pentahidratado) 4,0; 3b202 Yodato de calcio anhidro: 1,90; E8 Selenio (selenito de sodio) 0,10; E1 Hierro (carbonato ferroso) 18,0; 3^a711 Vitamina K3 1,50; Vitamina B2 3,00; 3^a315 Niacinamida 15,0; 3a841 D-pantotenato cálcico 6,44; 3a890 Cloruro de colina 245,00. Valores dados (UI) por kg de pienso 3a672a Vitamina a 7500.00; E671 Vitamina D3 150.000; Vitamina B12 (mcg/kg) 10,00

Tabla 3.3. Análisis del contenido en humedad (%), proteína bruta (%), fibra bruta (%), grasa bruta (%) y cenizas (%) de las dietas administradas a los pollos durante el estudio

	Humedad 105 °C	Proteína Bruta	Fibra Bruta	Grasa Bruta	Cenizas 550 °C
Arranque	9,24	21,45	3,68	5,69	7,09
Crec.Acab	10,16	15,94	5,74	5,04	4,89

Crec.Acab: Pienso crecimiento acabado (30-120 días)

Control del desarrollo

Los pollitos fueron marcados y pesados de forma individual a su llegada a la instalación (p1) y posteriormente a intervalos regulares de 15 días hasta su sacrificio (p15, p30, p45, p60, p75, p90, p105, p120).

La ganancia media diaria (GMD) se calculó para los distintos intervalos entre las pesadas, y se determinó la GMD total para la vida de los pollitos.

Los pollitos fueron vigilados de forma diaria, registrándose las bajas en el momento que se produjeron, anotando el grupo y el día que se producían.

Se registró el consumo de pienso en los distintos intervalos marcados en el experimento para cada gallinero, y finalmente el consumo total (C1-120). Los valores registrados para el consumo y el peso repuesto por los animales en los distintos intervalos, permitió calcular el IC. El IC se calculó para cada mes (IC 1-30, IC1-60, IC1-90) y para el periodo total de vida del animal (IC1-120).

Calidad de la carne

El día 120, los pollitos fueron sacrificados de acuerdo con la normativa para el sacrificio de animales de producción ecológica (RD 37/2014), en un matadero certificado para el sacrificio de aves criadas en sistema ecológico (Amayuelas de Abajo, Palencia). Se seleccionaron de forma aleatoria un total de 48 pollitos para llevar a cabo el análisis de calidad, siendo 24 perteneciente a la estirpe CY y otras 24 a la estirpe RB. De cada estirpe, se seleccionaron 12 animales pertenecientes a cada periodo (P1 y P2). Tras 15 minutos *pos-mortem*, se extrajo la pechuga (*Pectoralis major*) y se envió al laboratorio de Tecnología de los Alimentos (Escuela Politécnica Superior, Zamora) refrigeradas donde las muestras permanecieron congeladas a -18 °C. Previo al análisis, las pechugas fueron descongeladas durante 24 horas a 4 °C. Las condiciones de sacrificio, obtención y conservación de las muestras quedan descritas de forma detallada en el apartado de materiales y métodos (IV) de la presente tesis.

Las determinaciones se realizaron tal y como se describe en el apartado de materiales y métodos, y de forma resumida se detalla a continuación. La medición del pH se realizó en el músculo pectoral con un pHímetro CRISON pH METER BASIC 20®. La determinación del color de las muestras de carne se realizó usando un colorímetro (HunterLab MiniScan modelo XE Plus) con en el lado externo del músculo pectoral sin piel tras una hora de exposición al aire determinándose los parámetros L* a* b* usando un observador de 10 ° y el iluminante D₆₅ en el espacio CIE Lab. La capacidad de retención de agua (CRA) se determinó utilizando el método propuesto por Zamorano y Gambaruto (1997).

Posteriormente, la pechuga se dividió longitudinalmente en tres submuestras (A₁, A₂, A₃). La muestra A₁ se homogeneizó, y se usó para determinar los siguientes parámetros humedad (AOAC 950.46 B, (2011)), grasa (AOAC 31.4.02 (2000)) cenizas (AOAC 927.02 (2005)), perfil de ácidos grasos (Folch, 1957) y concentración de malondialdehído (MDA) mediante el método TBARS (sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (Buege *et al.*, 1978). La muestra A₂ se pesó y se envasó en una bolsa de plástico y se calentó hasta 75°C centro pieza para luego ser enfriadas y tras una nueva pesada se calcularon las pérdidas por cocción. A partir de las muestras cocinadas se determinó la textura en porciones de 1x1 de sección y 3 cm de longitud utilizando para ello el Texture Analyzer TA-XT2i (Stable Micro Systems, Surrey, UK) equipado con una cuchilla de Warner-Bratzler. Se realizó un corte perpendicular a la dirección de la fibra muscular, a una velocidad de 3 mm/s, registrándose la fuerza de corte máxima (WBSF).

Sobre la submuestra A₃ se registró el espectro NIRS. Las submuestras fueron descongeladas a 4 °C durante 24 horas y posteriormente se llevó a cabo el registro. El equipo utilizado se encuentra en el Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología de la Facultad de Ciencias Químicas de la

Universidad de Salamanca. Para el registro de los espectros NIR se utilizó un equipo Foss NIRSystem 5000 con sonda de fibra óptica de reflectancia remota de tipo Blunde (haz) regular 210/210 que tiene una placa de cerámica como referencia. La sonda está unida al equipo por 1,5 metros de fibra óptica. El procedimiento completo llevado a cabo queda descrito en el apartado de materiales y métodos, NIRS.

Análisis estadísticos

a. Datos productivos y de calidad de la carne

Para estudiar el efecto de los factores fijos estirpe y periodo de crianza, y la interacción entre ambos, se utilizó el modelo lineal general multivariante (GLM) sobre el peso de cada semana, GMD, consumos e IC, al igual que para los parámetros de calidad. Para la variable mortalidad, se utilizó la prueba Chi². En todos los casos, se consideró la existencia de diferencias significativas cuando $p < 0,05$.

Para evaluar el efecto del peso al nacimiento (p1) sobre el peso final de los animales (p120), se realizó mediana del peso de todos los pollitos de forma independiente a la estirpe utilizada y al periodo de crianza. Se establecieron dos grupos (G1 y G2) en función de si su peso fue mayor o inferior a la mediana. Se realizó un análisis de una vía (ANOVA) para evaluar el efecto del p1 sobre las pesadas posteriores, GMD e IC.

Para establecer el modelo de predicción del peso vivo al matadero (P120), se utilizó un modelo de regresión lineal diferente para cada periodo de crianza (P1 y P2) que se relacionó con las distintas pesadas llevadas a cabo durante la duración del experimento. Esto permitió determinar la ecuación que se expresa en el apartado de resultados para cada uno de los periodos.

- Prueba t de Student

Se realizó la prueba t de Student para muestras relacionadas en todos los grupos objeto de estudio en función del periodo (P1 y P2) y la estirpe (CY y RB) comparando la diferencia entre pesadas para comprobar el crecimiento de los animales. Se observó que hubo incremento significativo de peso ($p < 0,001$) en todas las pesadas a lo largo del experimento (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Prueba t de Student de muestras emparejadas a lo largo de las distintas pesadas

		Crecimiento (kg)	p
Par 1	p1 - p15	-0,149 ± 0,065	***
Par 2	p15 - p30	-0,190 ± 0,100	***
Par 3	p30 - p45	-0,210 ± 0,136	***
Par 4	p45 - p60	-0,355 ± 0,222	***
Par 5	p60 - p75	-0,458 ± 0,162	***
Par 6	p75 - p90	-0,471 ± 0,221	***
Par 7	p90 - p105	-0,489 ± 0,354	***
Par 8	p105 - p120	-0,674 ± 0,407	***

Los resultados se presentan como media \pm desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05 ** p <0,01 *** p <0,001

Los resultados se expresan como la diferencia entre la primera pesada y la posterior para los distintos intervalos, siendo todos los valores negativos asociados a esta variación.

b. Espectros NIRS

Sobre los espectros NIRS obtenidos se realizó un análisis discriminante para los factores estirpe o periodo de crianza. El método de regresión aplicado a este procedimiento fue D-PLS (Ståhle y Wold, 1987). Esencialmente, el método *Partial Least Squares* (PLS) pretende concentrar la información relevante contenida en las variables medidas en un número menor de variables sin pérdida de información relevante. La regresión se realiza con estas nuevas variables, simplificando el modelo de calibración y la interpretación de los resultados. El método PLS 1 o PLS 2 debe utilizarse dependiendo de si el modelo se aplica a una variable única o a varias variables dependientes (Brereton, 2003; Vandeginste *et al.*, 1998). Como durante el desarrollo del modelo se conoce el grupo al que pertenecen las muestras, los archivos están preparados para contener los espectros de todas las muestras que pertenecen a la misma categoría; hay un archivo para cada categoría. Esto conduce a la generación automática de una matriz temporal con muestras de todas las categorías y tantas nuevas variables ficticias como categorías. En cada variable hay una indicación de si la muestra pertenece a un grupo dado o no por medio de un código binario de unos o ceros, respectivamente. La validación cruzada se utiliza para establecer el número de factores PLS y evaluar el modelo. Una vez que se ha obtenido esta última, se hace una predicción sobre el valor de cada variable ficticia para cada muestra; estos valores predichos se cambian luego por la adición de una unidad. El número de muestras clasificadas correctamente en las categorías a las que pertenecen indica la aceptabilidad del modelo desarrollado. Algunos estudios han usado NIRS con esta técnica para la clasificación de la carne en función de la raza (Cozzolino *et al.*, 2006) o de la zona geográfica de producción (Sun *et al.*, 2012b). El software utilizado para los tratamientos quimiométricos fue el programa WinISI versión 1.50 (Foss A / S, Hillerød, Dinamarca).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La exposición de los resultados del presente trabajo queda dividida en cuatro apartados. El primer apartado se corresponde con los datos productivos obtenidos en función del periodo y de la estirpe utilizada. El segundo apartado se corresponde con el efecto del peso del primer día sobre el resto de parámetros productivos. En el tercer apartado, a partir de los datos obtenidos para los distintos parámetros productivos, se diseñó un modelo predictivo de peso al sacrificio, IC y consumo en función de los factores estudiados (estirpe y periodo de crianza). Por último, en el cuarto apartado se recogen los datos de calidad de la carne y los registros NIRS de las pechugas de los pollos en función de la estirpe y del periodo de crianza.

1. CONTROL DEL DESARROLLO PRODUCTIVO

a. Pesos

La Tabla 3.5 refleja los pesos obtenidos (kg) en los distintos intervalos a lo largo del experimento en función de la estirpe utilizada y el periodo de estudio.

Tabla 3.5. Pesos (kg) de los dos híbridos (CY y RB) en los distintos periodos de estudio (P1 Y P2)

	P1		P2		p		
	CY	RB	CY	RB	E	P	Exp
p1	0,071 ± 0,025	0,057 ± 0,015	0,052 ± 0,005	0,056 ± 0,010	ns	*	**
p15	0,227 ± 0,078	0,227 ± 0,067	0,188 ± 0,072	0,210 ± 0,062	ns	*	ns
p30	0,403 ± 0,150	0,456 ± 0,144	0,355 ± 0,103	0,394 ± 0,110	ns	ns	ns
p45	0,621 ± 0,201	0,678 ± 0,258	0,508 ± 0,194	0,614 ± 0,174	ns	ns	ns
p60	1,056 ± 0,290	1,224 ± 0,362	0,888 ± 0,328	0,853 ± 0,218	ns	*	ns
p75	1,578 ± 0,412	1,673 ± 0,575	1,289 ± 0,399	1,248 ± 0,294	ns	**	ns
p90	2,181 ± 0,475	2,253 ± 0,543	1,998 ± 0,520	1,644 ± 0,388	ns	**	ns
p105	2,689 ± 0,756	2,844 ± 0,533	2,661 ± 0,499	2,092 ± 0,667	ns	**	ns
p120	3,579 ± 0,668	3,582 ± 0,488	3,027 ± 0,554	2,973 ± 0,631	ns	**	ns

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05 ** p <0,01 *** p <0,001

E: Estirpe; P: Periodo. P1: periodo 1; P2: periodo 2; CY: ColorYield; RB: RedBro

a.1. Estirpe

Los pollitos RedBro y ColorYield tuvieron pesos iniciales (p1) de vida similares, que se mantuvieron con tendencias semejantes a lo largo de todo el experimento. Si bien es cierto, tal y como se observa en la Figura 3.2 a partir de la pesada p75, existe una tendencia ligeramente mayor en los pesos de la estirpe ColorYield que se mantiene hasta el momento de sacrificio (p120); aunque finalmente estas diferencias no fueron significativas (p >0,05). Se puede concluir que, la estirpe utilizada no tuvo un efecto estadísticamente significativo (p >0,05) para las distintas pesadas realizadas a lo largo del experimento (p1 hasta p120).

Cuando se analizó la evolución del peso de cada una de las estirpes en función del periodo de crianza (P1 y P2) se observaron diferencias entre estos, que no se mantuvieron con la misma distribución a lo largo del experimento. Para la primera pesada (p1) se observó un valor numéricamente mayor en la estirpe ColorYield (0,071 vs. 0,057 kg) en el periodo más frío (P1), mientras que para la misma pesada (p1) en el periodo más cálido (P2) la estirpe RedBro registró pesos superiores con respecto a la ColorYield (0,056 vs. 0,052 kg).

Los resultados obtenidos en nuestro estudio para las estirpes de crecimiento medio-lento (CY y RB) fueron ligeramente inferiores a los publicados por Castellini *et al.* (2002) y Dal Bosco *et al.* (2011) cuando utilizaron otras estirpes de crecimiento medio-lento. No debemos olvidar que los días de vida de los pollos en los estudios consultados fueron inferiores a los descritos en nuestro estudio. Castellini *et al.* (2002) establecieron el peso al sacrificio al cabo de 81 días, mientras que Dal Bosco *et al.* (2011) lo establecieron al cabo de 98 días, frente a los 120 días de duración de nuestro estudio. En ambos casos, cuando comparamos nuestros resultados entre el p75 (1,490 y 1,591 kg) y p105 (2,675

y 2,468 kg) con los suyos; se observó un peso superior con respecto a las estirpes de crecimiento lento utilizadas en estudios anteriores (1,670 y 1,874 kg) pero inferiores a los híbridos de crecimiento medio-lento (2,372 y 2,369 kg).

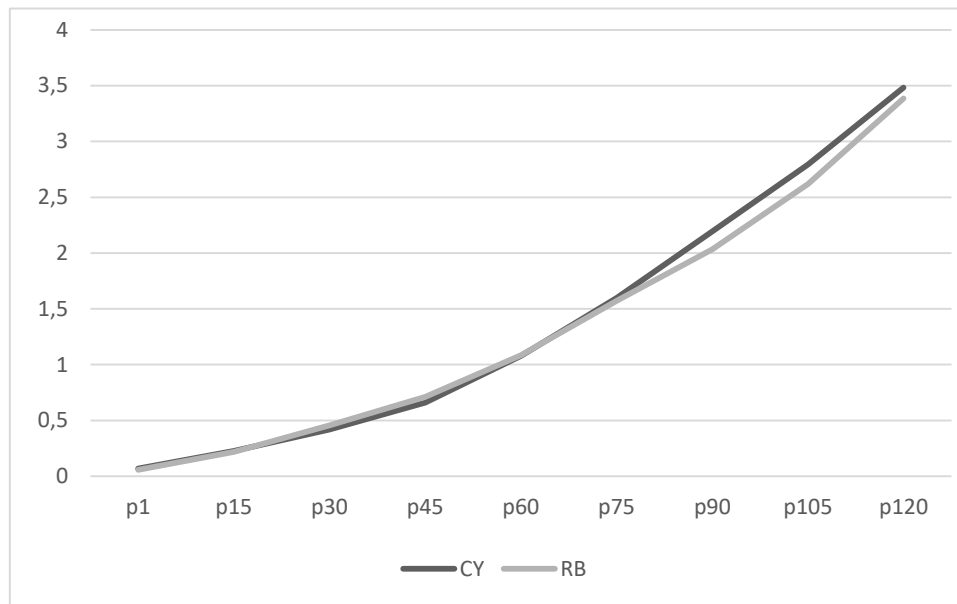


Figura 3.2. Peso medio (kg) de las estirpes (CY: ColorYield y RB: RedBro) utilizadas en el estudio de forma independiente al periodo utilizado

En todo caso, Dal Bosco *et al.* (2011) describieron que existe un mayor peso en los híbridos de crecimiento medio cuando se les compara con razas de crecimiento lento puras. Esto se debe al efecto que ejerce la hembra progenitora sobre el desarrollo productivo del pollito, ya que aporta el gen de crecimiento rápido. Los pollos de crecimiento rápido han sido seleccionados por su tasa de crecimiento y conversión alimenticia. Como tal, estas estirpes crecen muy rápidamente y se comportan de manera muy diferente a las estirpes cuya selección ha sido menor. Su eficiencia es en gran medida consecuencia de tener que alcanzar el peso en un periodo de tiempo mucho más corto que el requerido para las estirpes de crecimiento lento (Dal Bosco *et al.*, 2011).

Así mismo, se ha relacionado que las estirpes de crecimiento lento son más activas que las estirpes de crecimiento rápido, incluso cuando ambas son criadas en condiciones extensivas. El mayor comportamiento exploratorio de estas aves y la reducción en el tiempo de descanso y consumo de alimento, provoca un menor peso corporal de las aves de crecimiento lento cuando se comparan con estirpes de crecimiento rápido cuya edad es la misma (Castellini *et al.*, 2002).

a.2. Periodo

Frente a lo ocurrido para la estirpe, el periodo parece que tuvo un papel más importante sobre el peso de los animales. Inicialmente, se mostró un peso significativamente superior ($p < 0,05$) para los animales criados en el periodo más frío (P1) durante las dos primeras pesadas ((p1 0,064 vs. 0,057 kg) (p15 0,237 vs. 0,199 kg). Sin embargo, estas diferencias desaparecieron ($p > 0,05$) para las

pesadas p30 y p45. Es en la pesada p60, donde nuevamente comienzan a mostrarse diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ambos periodos, siendo el peso superior para el periodo más frío (P1) (1,171 vs. 0,957 kg). Estas diferencias, se mantienen en las sucesivas pesadas ((p75 1,723 vs. 1,382 kg) (p90 2,270 vs. 1,845 kg) (p105 2,869 vs. 2,421 kg)) hasta el momento del sacrificio (p120) (3,580 vs. 2,989 kg). La diferencia en el valor para las distintas pesadas se fue incrementando a medida que lo hicieron los días de vida, siendo la distancia entre ambos pesos cada vez más notable. La evolución de los pesos en función del periodo, queda representado de una forma más detallada en la Figura 3.3.

Nuestros resultados coinciden con lo observado en estudios anteriores, que hallaron una caída del peso final a medida que se incrementaba la temperatura (Yalçın *et al.*, 1997; Akşit *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2012). Akşit *et al.* (2006) consideraron que la disminución del peso se hace más evidente a medida que la temperatura se incrementa. Estos hallazgos pueden explicarse por la dificultad de disipar el calor interno a temperaturas ambiente elevadas, lo que conduce a una disminución de la ingesta de alimentos repercutiendo sobre el peso final del pollito.

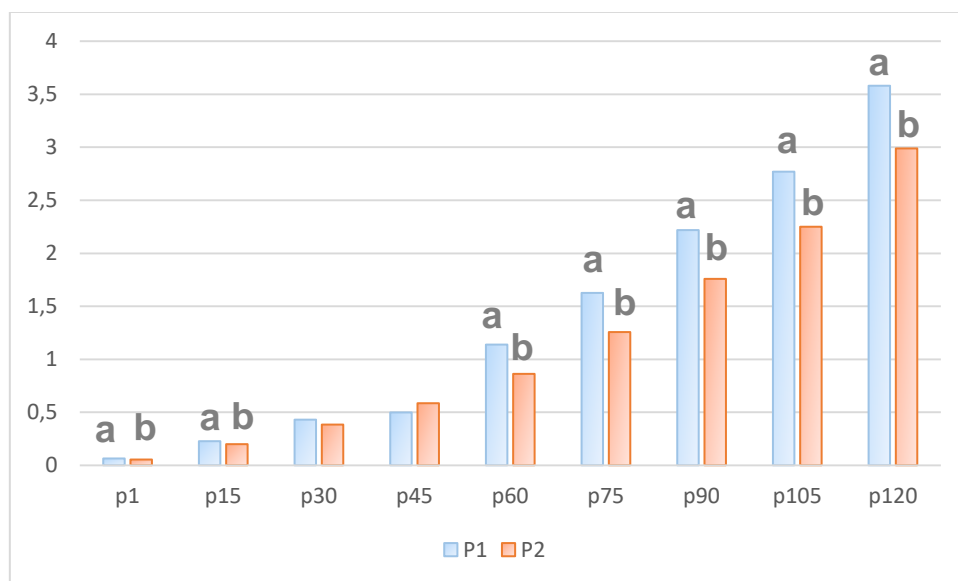


Figura 3.3. Peso medio (kg) de las estirpes utilizadas en el estudio en función del periodo de crianza (P1 y P2)

La interacción entre las condiciones ambientales (P1 y P2) y el genotipo utilizado (CY y RB) tuvo un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre la primera pesada (p1). Se observó que claramente hubo un peso superior al resto (0,071 kg), correspondiente a la estirpe ColorYield criada en el periodo más frío (P1); frente a esto, las causas por las que se produjeron estos hechos no se encuentran claras. Para el resto de las pesadas, no se observaron efectos significativos ($p > 0,05$) de la interacción entre ambos factores.

b. Ganancia Media Diaria (GMD)

Los resultados obtenidos en función de la estirpe (CY y RB) y el periodo (P1 y P2) para la velocidad de crecimiento medida mediante GMD se muestran en la Tabla 3.6. Estos resultados corresponden al peso adquirido (kg) por los animales de forma diaria (d) en los intervalos mensuales contemplados en el estudio (kg/d).

Tabla 3.6. Ganancia media diaria (GMD) (kg/d) de los distintos periodos, para los híbridos (CY: ColorYield y RB: RedBro) en función del periodo de estudio (P1 y P2)

	P1		P2		p		
	CY	RB	CY	RB	E	P	Exp
GMD1-30	0,011 ± 0,005	0,014 ± 0,004	0,011 ± 0,002	0,012 ± 0,002	ns	ns	ns
GMD30-60	0,022 ± 0,008	0,025 ± 0,009	0,021 ± 0,007	0,016 ± 0,007	ns	***	ns
GMD60-90	0,038 ± 0,007	0,035 ± 0,010	0,033 ± 0,003	0,028 ± 0,010	ns	**	ns
GMD90-120	0,044 ± 0,018	0,042 ± 0,010	0,035 ± 0,005	0,047 ± 0,015	ns	ns	ns
GMD1-120	0,029 ± 0,006	0,025 ± 0,003	0,029 ± 0,004	0,026 ± 0,004	ns	**	ns

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05 ** p <0,01 *** p <0,001

E: Estirpe; P: Periodo. P1: periodo 1; P2: periodo 2; CY: ColorYield; RB: RedBro

b.1. Estirpe

La tabla muestra que, de forma independiente a la estirpe, conforme aumentaban los días de vida de los animales lo hizo el valor de la GMD. No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las distintas estirpes (CY y RB) para ninguna de las etapas reflejadas en la Tabla 2.6. Si bien es cierto, se observó una velocidad de crecimiento numéricamente mayor para la estirpe RedBro en el primer mes (GMD 1-30 0,011 vs. 0,013 kg/d) y en el cuarto mes (GMD 90-120 0,042 vs. 0,045 kg/d). Mientras que en los meses centrales los animales pertenecientes a la estirpe ColorYield tuvieron una mayor velocidad de crecimiento (GMD 30-60 0,022 vs. 0,020 kg/d) (GMD 60-90 0,037 vs. 0,031 kg/d). Finalmente, la GMD correspondiente al periodo total de estudio (GMD 1-120) tuvo un valor mayor, aunque no significativo ($p > 0,05$) para los animales pertenecientes a la estirpe ColorYield (0,029 vs. 0,026 kg/d). Estas diferencias quedan reflejadas en la Figura 3.4.

Dal Bosco *et al.* (2011) mostró resultados similares a los nuestros para el valor de GMD total del estudio cuando utilizó híbridos de crecimiento medio-lento (0,291 kg/día). Al igual que ocurría en el peso, la GMD descrita por estos autores para pollitos híbridos fue significativamente superior cuando se compararon con estirpes de crecimiento lento puras (0,229 kg/d).

Probablemente las diferencias numéricas halladas en relación a otros trabajos previos para el valor del GMD entre las distintas estirpes de crecimiento medio-lento consultadas pueden estar justificadas debido a la influencia de los genotipos de los progenitores. Abdullah *et al.* (2010) hallaron diferencias sobre el valor de GMD cuando compararon dos estirpes de crecimiento rápido entre sí.

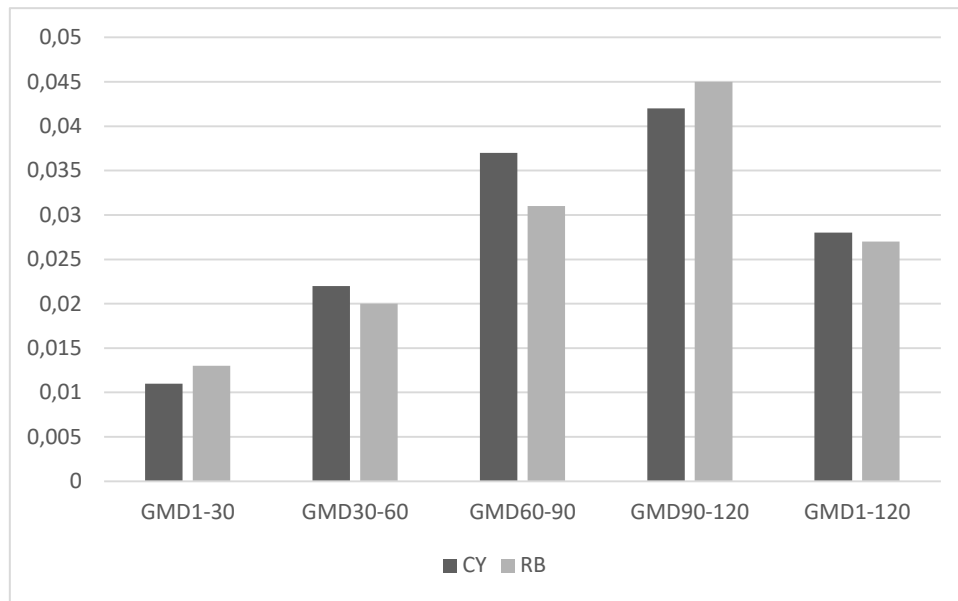


Figura 3.4. Ganancia Media Diaria (GMD) (kg/d) de las estirpes utilizadas (CY: ColorYield y RB: RedBro) en el estudio de forma independiente al periodo utilizado

Esto plantea que la existencia de diferencias entre el uso de una estirpe u otra de crecimiento rápido como línea progenitora podría condicionar el posterior desarrollo de la descendencia, influyendo sobre la productividad de los mismos, si bien, en este caso no ocurrió.

b.2. Periodo

La Figura 3.5 muestra la evolución de la velocidad de crecimiento en función del periodo (P1 y P2) en intervalos mensuales contemplando ambas estirpes de forma conjunta (CY y RB). Para el periodo de crianza (P1 y P2) se observaron diferencias significativas ($p < 0,01$) para el segundo mes (GMD 30-60 0,024 vs. 0,017 kg/d) y para el tercer mes de vida (GMD 60-90 0,036 vs. 0,029 kg/d) ($p < 0,01$). Estos valores fueron significativamente mayores para los animales criados en el periodo más frío (P1).

Por el contrario, para el periodo GMD 90-120 se observó una mayor velocidad de crecimiento en los animales que habían sido criados en el periodo cálido (P2) (0,043 vs. 0,045 kg/d), aunque no fue significativa ($p > 0,05$). Finalmente, para el estudio completo (GMD 1-120) se observó mayor velocidad de crecimiento en aquellos animales que habían sido criados en el periodo más frío (P1) (0,029 vs. 0,026 kg/d). En la Figura 2.5 se observa, además, que se produjo un incremento sobre el valor de GMD a medida que aumentaban los días de vida de los pollitos

Nuestros resultados coinciden con los publicados por Zhang *et al.* (2012) que consideraron que cuando los pollitos eran criados en temperaturas más elevadas, se producía una caída en el valor de GMD la cual se hacía más evidente a medida que se incrementaban los días de vida de los animales. En contraste, Akşit *et al.* (2008) mostraron una menor GMD en aquellos animales que habían sido criados con temperaturas frías; mientras que Blahová *et al.*

(2007) consideraron que el efecto de las temperaturas de crianza más bajas no tuvo un efecto significativo sobre la GMD.

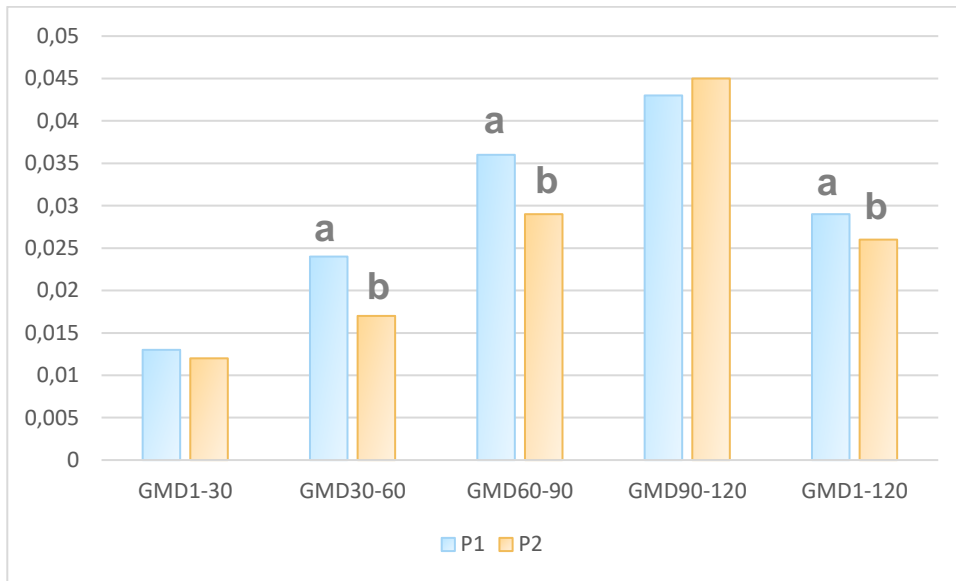


Figura 3.5. Ganancia Media Diaria (GMD) (kg) de ambas estirpes evaluadas de forma conjunta, en función del periodo de estudio (P1 y P2)

c. Consumos

La Tabla 3.7 muestra los resultados obtenidos para el consumo (kg) en función de la estirpe (CY y RB) y el periodo de crianza (P1 y P2). Estos resultados se muestran como la cantidad de pienso (kg totales) consumidos por animal en cada intervalo estudiado.

Tabla 3.7. Consumo de pienso (kg/pollo) para los distintos intervalos en función de la estirpe (CY: ColorYield y RB: RedBro) y del periodo de crianza (P1 y P2)

	P1		P2		p		
	CY	RB	CY	RB	E	P	Exp
C1-30	1,119 ± 0,147	1,117 ± 0,111	0,986 ± 0,245	1,201 ± 0,258	*	ns	*
C30-60	2,966 ± 0,302	2,975 ± 0,081	2,337 ± 0,291	2,567 ± 0,156	ns	***	ns
C60-90	5,081 ± 0,768	5,751 ± 0,378	3,674 ± 0,782	4,323 ± 0,343	***	***	ns
C90-120	7,303 ± 0,680	7,227 ± 0,424	5,940 ± 0,739	6,644 ± 0,654	ns	***	*
C1-120	16,367 ± 1,702	17,070 ± 0,497	12,936 ± 1,783	14,734 ± 0,413	**	***	ns

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05 ** p <0,01 *** p <0,001

E: Estirpe; P: Periodo. P1: periodo 1; P2: periodo 2; CY: ColorYield; RB: RedBro

c.1 Estirpe

Se observó un consumo de pienso significativamente mayor en los animales pertenecientes a la estirpe RedBro para el primer mes (C1-30 1,134 vs. 1,017 kg), para el tercer mes (C60-90 5,455 vs. 4,584 kg) y para el periodo total de duración del experimento (C1-120 16,586 vs. 15,156 kg). Las diferencias entre los pollitos de ambas estirpes en los distintos periodos se hicieron más notables a medida que se incrementaron los días de vida. Se observa que el consumo en el tercer mes (C60-90) fue el periodo donde las diferencias fueron

más acusadas ($p < 0,001$); y concretamente para los pollitos RedBro criados en el periodo más frío (P1) (5,751 vs. 5,081 kg). En el caso del consumo total (C1-120) las diferencias fueron más evidentes ($p < 0,05$) para los pollitos RedBro que habían sido criados en el periodo más cálido (P2) (14,734 vs. 12,936 kg). Las causas de estas diferencias entre ambas estirpes no han sido documentadas por autores previos.

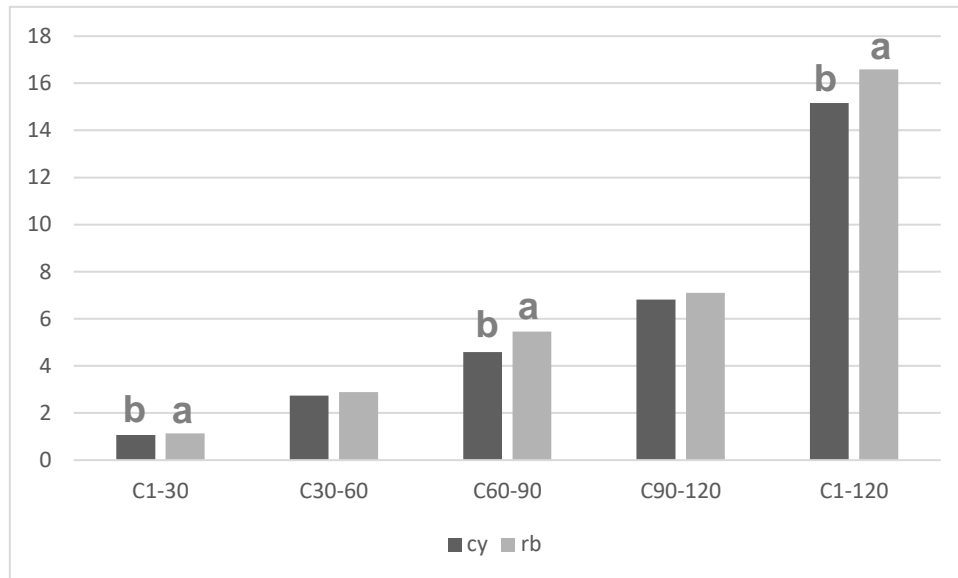


Figura 3.6. Consumo (kg totales/pollo) de las estirpes utilizadas (CY: ColorYield y RB: RedBro) en el estudio para cada intervalo de forma independiente al periodo utilizado

Para los intervalos restantes, a pesar de que no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$), los valores hallados fueron mayores para la estirpe RedBro (C30-60 2,890 vs. 2,744 kg) (C90-120 7,106 vs. 6,821 kg). La Figura 3.6 recoge el consumo total (kg) registrado para ambas estirpes (CY y RB) en los diferentes intervalos establecidos en el experimento.

c.2 Periodo

Nuestros resultados mostraron un consumo significativamente menor ($p < 0,001$) en los animales criados en condiciones más cálidas (P2) a partir del segundo mes (C30-60 2,394 vs. 2,969 kg) y que se mantuvo para los intervalos restantes ((C60-90 3,836 vs. 5,356 kg) (C90-120 6,116 vs. 7,272 kg) y para el periodo total de duración del estudio (C1-120 13,386 vs. 16,656 kg) frente a los pollitos que se habían criado en condiciones más frías (P1). Estas diferencias quedan reflejadas en la Figura 3.7.

Se sabe que la reducción de la ingesta durante las épocas cálidas, constituye un mecanismo eficiente para la disminución de la producción del calor y el mantenimiento de la homotermia, que da lugar a un crecimiento más lento (Van der Sluis, 2004); esto se encuentra de acuerdo con los hallazgos de nuestro estudio. De forma similar a nuestros resultados, Blahová *et al.* (2007) y Aksit *et al.* (2008) mostraron un aumento del consumo en pollos criados en ambientes más fríos. En consonancia, se ha descrito que las aves criadas en condiciones de estrés por frío, con el fin de aumentar y equilibrar sus temperaturas

corporales, aumentan el consumo de alimento (Aksit *et al.*, 2008). Esto provoca que, a pesar de que se produzca un incremento en el consumo del pienso, la energía del mismo se utilice para el mantenimiento de la temperatura en lugar de para el incremento de peso. Esto conllevaría un IC mayor, y por tanto se encontraría de acuerdo con nuestros resultados.

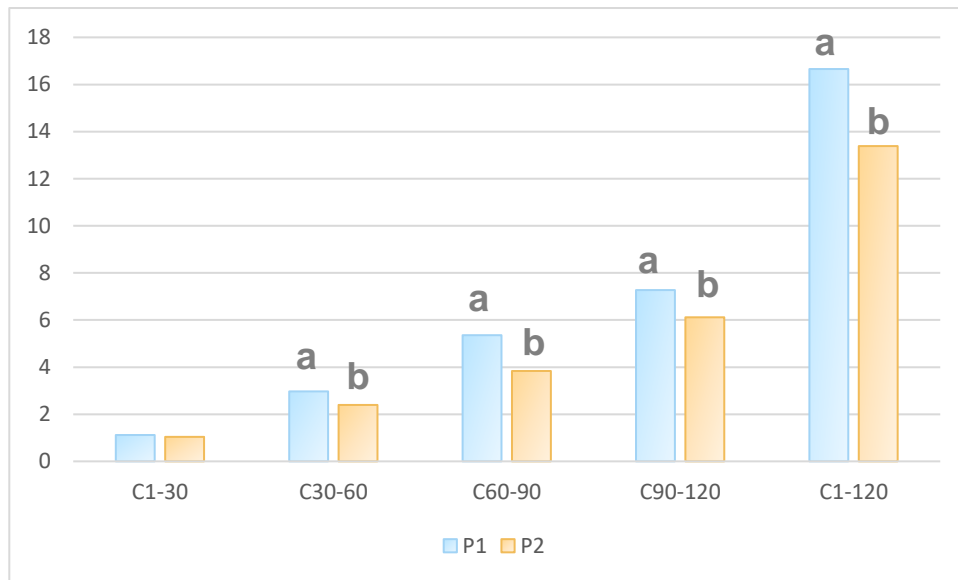


Figura 3.7. Consumo (kg totales/pollo) para ambas estirpes en función del periodo de crianza (P1 y P2)

d. Índice de conversión

Los resultados obtenidos para el IC quedan reflejados en la Tabla 3.8. Estos valores corresponden al IC intervalo del primer mes (IC 1-30), segundo mes (IC 30-60), tercer mes (IC 60-90) y cuarto mes (IC 90-120). También se determinó este valor para el periodo total de duración del estudio (IC 1-120).

Tabla 3.8. Índice de conversión para los distintos intervalos en función de la estirpe (CY: ColorYield y RB: RedBro) y del periodo de crianza (P1 y P2)

	P1		P2		p		
	CY	RB	CY	RB	E	P	ExP
IC1-30	2,946 ± 1,272	4,043 ± 2,316	2,673 ± 0,498	3,374 ± 0,303	*	ns	ns
IC30-60	5,669 ± 2,736	5,090 ± 1,998	4,203 ± 1,276	4,350 ± 1,050	ns	ns	ns
IC60-90	5,708 ± 5,093	5,188 ± 0,990	5,537 ± 2,302	4,360 ± 0,414	ns	ns	ns
IC90-120	5,740 ± 1,379	6,149 ± 2,147	4,968 ± 2,144	6,363 ± 1,455	ns	ns	ns
IC1-120	4,762 ± 0,638	5,050 ± 1,018	4,317 ± 1,069	4,883 ± 0,650	ns	ns	ns

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05 ** p <0,01 *** p <0,001

E: Estirpe; P: Periodo. P1: periodo 1; P2: periodo 2; CY: ColorYield; RB: RedBro

d.1 Estirpe

En ambas estirpes se observó un incremento en valor del IC, a medida que se aumentaba la edad de vida de los animales. Esto ha sido documentado por autores previos (Schmidt *et al.*, 2008) que describieron un incremento lineal del IC en función de la edad de los pollos. Esta situación queda justificada por el mayor consumo de pienso de los pollitos a medida que se incrementa la edad y por la menor capacidad de los animales para reponer el peso (kg).

La estirpe utilizada tuvo un efecto estadísticamente significativo ($p < 0,05$) sobre el IC durante el primer mes (IC30), siendo mayor para los animales de la estirpe RedBro frente a la ColorYield (3,904 vs. 2,849). Para el segundo mes (IC 30-60 5,151 vs. 4,937) y el tercer mes (IC 60-90 5,647 vs. 5,0162) el valor del IC aumento para los animales pertenecientes a la estirpe ColorYield, aunque estas diferencias no fueron significativas ($p > 0,05$). Mientras que, aunque tampoco se hallaron diferencias significativas ($p > 0,05$), para el cuarto mes (IC90-120 6,362 vs. 4,968) y para el periodo total de estudio (IC 1-120 5,0157 vs. 4,604) el valor del IC fue mayor, aunque no de forma significativa ($p > 0,05$) para los pollitos pertenecientes a la estirpe RedBro (Figura 3.8).

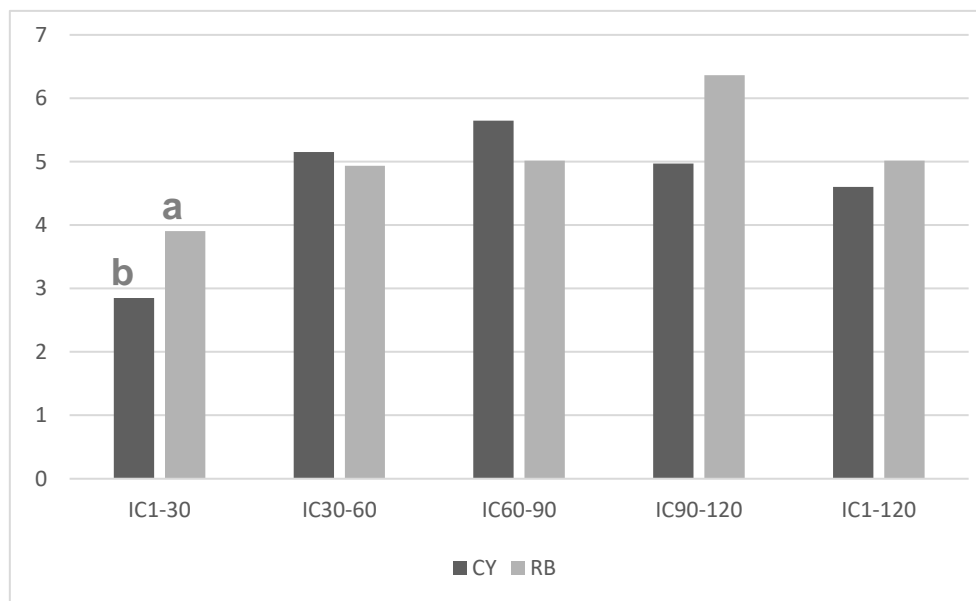


Figura 3.8. Índice de conversión (IC) de las estirpes utilizadas (CY: ColorYield y RB: RedBro) en el estudio de forma independiente al periodo utilizado

Nuestros resultados para el IC total del experimento en ambas estirpes son superiores a los obtenidos por autores previos para otras estirpes de crecimiento medio-lento (IC 3,2) (Dal Bosco *et al.* 2011). Probablemente, estas diferencias puedan atribuirse a la mayor duración del experimento, ya que como se ha visto anteriormente, el IC empeora a medida que se incrementan los días de vida del animal (Novák *et al.*, 2004, Abdullah *et al.*, 2010). En todo caso, nuestro estudio coincide en que el IC obtenido fue muy superior a los valores documentados para los híbridos de crecimiento rápido. Las estirpes utilizadas en la producción industrial han sido seleccionadas para alcanzar un peso elevado

en un periodo de tiempo muy corto; comportándose de manera diferente a las estirpes cuya selección ha sido menos intensa como las utilizadas en los sistemas de campo abierto. La eficiencia mejorada de las estirpes de crecimiento rápido en la conversión del alimento es en gran parte consecuencia de tener que mantener su peso corporal durante un período de vida mucho más corto del que se requiere para las estirpes de crecimiento lento que han sido seleccionadas con menos intensidad (Dal Bosco *et al.*, 2011).

d.2 Periodo

No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) para ninguna etapa de crecimiento en función del periodo de crianza (P1 y P2). Aunque, si bien es cierto, se observó un valor mayor del IC en aquellos animales que habían sido criados en el periodo más frío (P1) (Figura 3.9).

Se observó también una tendencia mayor en el IC en los animales criados en el periodo más frío (P1) para la duración total del experimento (IC 1-120 4,880 vs. 4,586). Los resultados relacionados con el efecto del estrés por frío en el IC están de acuerdo con Blahová *et al.* (2007) y Aksit *et al.* (2008). Estos autores informaron que el IC se vio afectado negativamente por bajas temperaturas de crianza. Esta situación, se ha atribuido con el efecto negativo que ocasiona el frío sobre la respuesta inmunitaria, fisiológica, los parámetros hemoquímicos y la disponibilidad de oxígeno en los tejidos (Blahová *et al.*, 2007; Aksit *et al.* 2008).

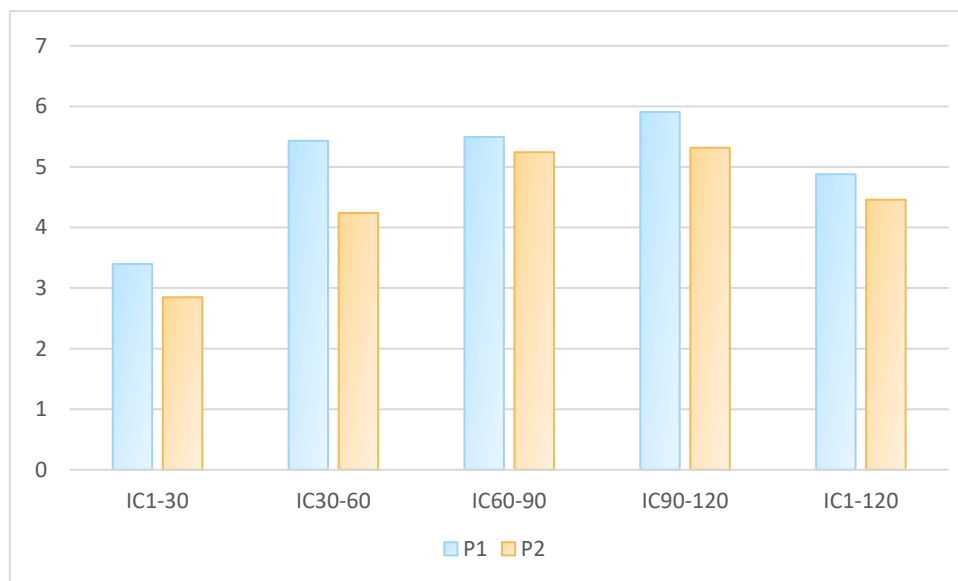


Figura 3.9. Índice de conversión en función del periodo de crianza (P1 y P2).

Finalmente, la interacción entre la estirpe y el periodo de crianza, no fue significativa ($p > 0,05$) para el IC en nuestro estudio para ninguno de los intervalos

e. Mortalidad

No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en el porcentaje total de pollos muertos en función de la estirpe (CY y RB) a la que pertenecían. En

consonancia, Dal Bosco *et al.* (2011) no observaron diferencias sobre la mortalidad cuando compararon estirpes de crecimiento lento y medio.

Para el periodo de crianza se observó un menor porcentaje de aves muertas para el periodo frío (P1) frente al cálido (P2) (21,7 % vs. 30 %) (Figura 3.10). Sin embargo, estas diferencias no fueron significativas ($p > 0,05$). La ausencia de diferencias entre ambos periodos puede justificarse a que temperaturas tanto por debajo como por encima del rango de termoneutralidad suponen un estrés para los animales y como consecuencia, se producen cambios fisiológicos. En estas condiciones, las aves suprimen el sistema inmunológico y aumentan la penetración de las bacterias a través del revestimiento intestinal. Además, el estrés térmico ejerce efectos negativos sobre el equilibrio redox, lo que exagera la producción de especies reactivas de oxígeno (Feng *et al.*, 2008) contribuyendo a la permeabilidad del revestimiento intestinal a las bacterias.

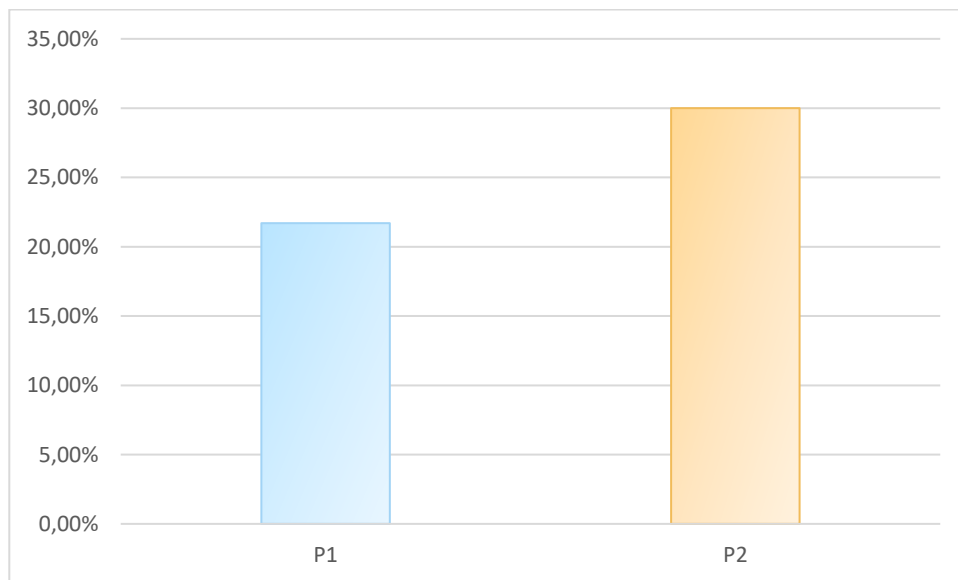


Figura 3.10. Representación de la mortalidad en función del periodo de crianza (P1 y P2)

f. Rendimiento económico

La rentabilidad económica de la explotación depende del índice de conversión. Se espera una mayor rentabilidad cuanto menor sea el IC, ya que implica que el animal ha ganado más peso, y su consumo de pienso ha sido menor. Todo esto se traduce en un menor coste para el ganadero, por un menor gasto en la compra del pienso, y un mayor retorno económico derivado de un peso al sacrificio mayor.

Aunque se halló un incremento significativo ($p < 0,01$) en el consumo de pienso (C1-120 15,90 vs. 14,65 kg), para los animales RedBro; el resto de parámetros productivos que condicionan la rentabilidad económica (peso al matadero (p120) e IC) no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre ambas estirpes estudiadas (CY y RB). Esto nos hace plantearnos que

aparentemente el productor puede incluir una estirpe u otra en función de la disponibilidad de estas, sin afectar al rendimiento económico.

En nuestro estudio se observa que a pesar de que el IC fue menor en los pollitos que habían sido criados en condiciones ambientales más cálidas (P2), el valor obtenido para el IC es muy similar entre ambos periodos de crianza (IC 1-120 4,880 vs. 4,586), diferenciándose solamente en un 0,4 % entre ambos periodos.

Según Sarmiento *et al.* (2018), el precio de venta de la canal de pollos producidos en sistemas ecológicos es de 11,48 €/kg. Si se multiplica este valor (11,48 €/kg), por la diferencia de peso al sacrificio (p120) entre los pollitos procedentes de ambos periodos (P1 y P2) (P2-P1 -0,58 kg) se obtiene un descenso en el precio ganado para el productor en -6,66 €/pollo en aquellos animales criados en el periodo más cálido (P2)

No obstante, los pollos criados en condiciones climáticas más cálidas (P2) consumieron una cantidad menor de pienso (-3,18 kg totales) con respecto a los criados en las condiciones más frías (P1), lo que aparentemente supondría una ventaja económica para el ganadero. Suponiendo un coste del pienso ecológico autorizado de 0,46 €/kg (Sarmiento *et al.*, 2018), multiplicado por la diferencia de consumo hallada entre los dos periodos (P1-P2) permitiría obtener un ahorro en la compra del pienso para el productor de 1,46 €/pollo en los animales criados en el periodo más cálido (P2).

Con todo ello, se observa que en el periodo más cálido (P2), la pérdida en kg vendidos (-6,66 €/pollo) asociada a un peso al sacrificio menor, no se compensa con el ahorro de pienso (+1,46 €/pollo) derivado de un menor consumo. Se obtendría finalmente una pérdida para el productor de -5,2 €/pollo cuando los pollos son criados en condiciones ambientales más cálidas.

En definitiva, los pollos criados en condiciones climáticas más frías (P1) retornan al productor más beneficio económico que aquellos criados en condiciones climáticas más cálidas (P2). Por ello teniendo únicamente en cuenta los rendimientos productivos y las condiciones ambientales se recomendaría incrementar el número de animales criados durante las épocas más frías, en detrimento de los criados en condiciones ambientales más cálidas.

2. EFECTO DEL PESO AL NACIMIENTO SOBRE EL DESARROLLO FINAL DE LOS POLLOS

La mayoría de los estudios que evalúan la influencia del peso en los primeros días de vida de los pollitos sobre el crecimiento final, se han realizado en estirpes de pollos de engorde (estirpes de crecimiento rápido) criados en condiciones industriales. Sin embargo, existe muy poca información acerca de estos efectos en pollos de crecimiento medio-lento, y más cuando son criados en sistemas de producción ecológica. Por lo tanto, hay necesidad de estudiar la influencia de este peso sobre el desarrollo final de los animales.

Partiendo de los resultados obtenidos en el estudio anterior para el total de 160 pollitos estudiados, se observaron grandes diferencias en la primera

pesada (p1) entre todos los valores registrados, de forma independiente al periodo de crianza (P1 y P2) y de la estirpe (CY o RB) al que pertenecían.

Se tomaron todos los datos registrados para el peso p1, y se realizó la mediana de los valores obtenidos (siendo su valor 0,054 kg). Todos aquellos pollitos cuyo peso p1, fue superior a la mediana se clasificaron como G2 (n=80), mientras que los que tuvieron un valor inferior a la mediana se clasificaron como G1 (n=80). De esta forma, se obtuvieron dos grupos diferenciados, cuyas pesadas quedan reflejadas en la Tabla 3.9.

Se comprobó mediante una Chi², que no hubo diferencias en la distribución de los dos grupos (G1 y G2) ni en el periodo de crianza (P1 y P2) ni la estirpe (CY y RB).

Tabla 3.9. Pesos de los animales (kg) en función de los grupos de clasificación del peso al nacimiento (G1 y G2)

	G1	G2	p
p1	0,046 ± 0,006	0,068 ± 0,017	***
p15	0,190 ± 0,070	0,220 ± 0,058	**
p30	0,368 ± 0,138	0,418 ± 0,122	*
p45	0,586 ± 0,228	0,640 ± 0,201	ns
p60	0,987 ± 0,352	1,020 ± 0,297	ns
p75	1,503 ± 0,479	1,428 ± 0,478	ns
p90	2,017 ± 0,581	1,909 ± 0,581	ns
p105	2,710 ± 0,489	2,482 ± 0,775	ns
p120	3,409 ± 0,546	3,375 ± 0,750	ns

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05 ** p <0,01 *** p <0,001

G1: P1 < 0,054 kg, G2: P1 > 0,054

Tal y como refleja la Tabla 3.9, las diferencias halladas entre ambos grupos fueron estadísticamente significativas para las tres primeras pesadas (p1, p15 y p30). Los animales cuyo peso inicial (p1) fue menor (G1) (0,046 vs. 0,068 kg) se mantuvieron con pesos significativamente menores para p15 (0,190 vs. 0,220 kg) y para p30 (0,368 vs. 0,418 kg). Estas diferencias disminuyen de forma progresiva desde la p1 (p <0,001) a las siguientes pesadas p15 (p <0,01) y p30 (p <0,05). Es a partir de la pesada p45 cuando las diferencias entre los dos grupos objeto de estudio (G1 y G2) dejan de ser significativas (p >0,05); manteniéndose la ausencia de diferencias hasta el sacrificio (p120).

La Figura 3.11 muestra el peso de ambos grupos (G1 y G2) a lo largo de la vida de los pollitos (1-120 d). Como se observa, a pesar de que el grupo G1 tuvo un menor peso inicial, las diferencias existentes entre ambos grupos disminuyen progresivamente desde la primera pesada (p1) hasta la pesada p30. Estas tendencias, aunque no significativas, se mantuvieron para la pesada p45 (0,586 vs. 0,640 kg) y p75 (1,503 vs. 1,428 kg) registrándose los valores de los pesos mayores en el grupo G2. A partir del p75 (1,503 vs. 1,428 kg) hasta el peso al sacrificio (p120) (3,409 vs. 3,375 kg), aunque no existieron diferencias significativas (p >0,05) se observó que los animales pertenecientes al grupo G1 (cuyo peso inicial fue menor) tuvieron un peso mayor que el grupo G2. Esto

plantea, que los animales llevaron a cabo un crecimiento compensatorio que les permitió no solo igualar los pesos si no también superarlos.

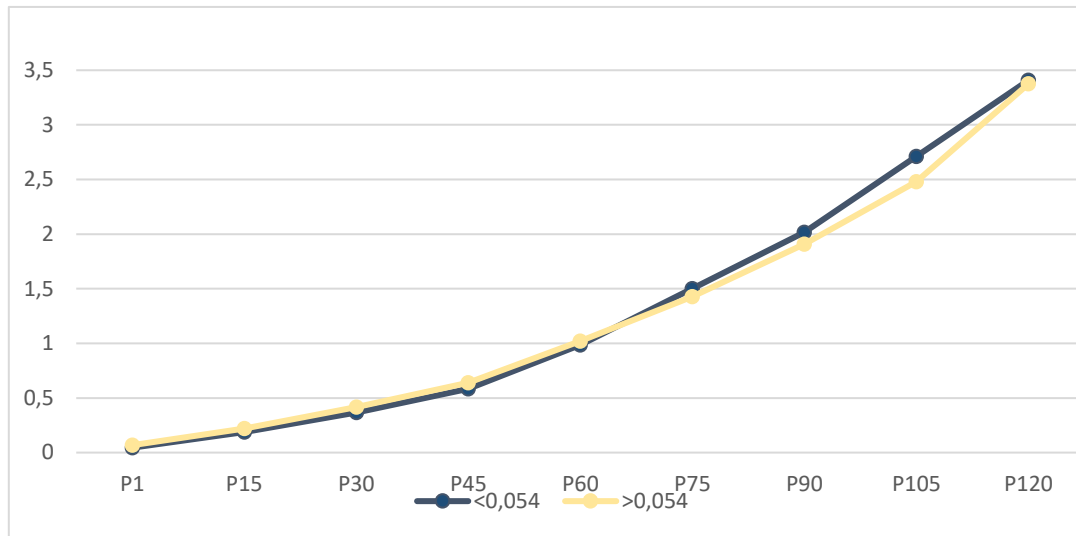


Figura 3.11. Evolución de los pesos (kg) para ambos grupos (G1 y G2) en función del peso al nacimiento

El peso de los pollitos es un rasgo fácilmente medible en comparación con otros rasgos y cobra gran importancia por parte de los criadores para evaluar su rendimiento productivo (Michalczuk, 2011). Los resultados obtenidos por otros autores para el efecto que ejerce el peso en los primeros días de vida sobre el peso al sacrificio son controvertidos. Se ha planteado que los pollitos con mayor peso corporal inicial tienen un mejor crecimiento posterior hasta la edad de mercado (Michalczuk, 2011). Sin embargo, otros estudios citaron el efecto significativo del peso inicial del pollito en el crecimiento durante las primeras semanas de vida, pero luego el efecto derivado del peso en la primera semana se vio disminuido (Jiang *et al.*, 2007).

Nuestro estudio mostró que el efecto del peso inicial del pollito (p1) en pollos de crecimiento medio-lento criados en condiciones ecológicas sobre las sucesivas pesadas fue estadísticamente significativo hasta la tercera semana (p30). Los pollos con alto peso inicial (G2) tuvieron un mayor peso corporal en la pesada p1, p15 y p30 en comparación con el grupo de bajo peso (G1), pero luego el efecto disminuyó gradualmente. En una línea similar, Patbandha *et al.* (2017) mostraron que, en pollos de crecimiento lento coloreados, el efecto del peso inicial del pollito sobre el peso corporal sucesivo fue estadísticamente significativo hasta la segunda semana. Los pollos cuyo peso inicial fue mayor, incrementaron su peso en el primer, octavo y decimoquinto día en comparación con el grupo de que tuvo menor peso, disminuyendo el efecto de forma gradual. En consonancia, Jiang *et al.* (2007) observaron un peso corporal significativamente mayor en el primer día en pollos de crecimiento lento (pollo amarillo de Lingnan), pero el efecto se anuló desde la segunda semana hasta la edad de mercado. Frente a esto, en pollos de crecimiento rápido (variedad Ross), Suk (2004) no observó ningún efecto del peso del pollito sobre el crecimiento posterior (de la 1ª a la 5ª semana). Se ha considerado que la presencia de una

cantidad desconocida de yema residual (0,8-10,6 g, 2; 2-8 g) (Mukhtar *et al.*, 2013) en la región abdominal del pollito puede confundir su peso real, lo que podría ser la razón del efecto no significativo del peso del pollito en el crecimiento más allá de las dos primeras semanas de vida. Además, la estirpe de aves experimentales utilizada podría ser la responsable de las diferencias halladas entre los estudios consultados (Patbandha *et al.*, 2017).

3. MODELO PREDICTIVO

Los modelos matemáticos de curvas de crecimiento son útiles porque proporcionan un medio para visualizar patrones de crecimiento a lo largo del tiempo y porque pueden usarse para predecir el peso esperado de un grupo de animales a una edad específica. El método de elección para modelar curvas de crecimiento es pesar a un grupo de individuos de varias edades, calcular un peso promedio en cada edad y ajustar una curva de crecimiento al promedio del grupo para estimar los parámetros del modelo. Una alternativa es ponderar a cada individuo en varias edades, ajustar una curva de crecimiento a cada individuo y calcular un promedio para cada parámetro de estimación del modelo de crecimiento para obtener el promedio de las curvas de crecimiento individuales (Atil *et al.*, 2007).

Como se ha detallado anteriormente, nuestros resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0,01$) en el peso final de los pollitos (P120) en función del periodo de crianza (P1 y P2). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas para el peso ($p > 0,05$) entre los pollitos en función de la estirpe (CY y RB).

De esta forma, de acuerdo a las inquietudes planteadas por los ganaderos y como herramienta de ayuda en la predicción del desarrollo productivo se desarrolló un modelo matemático que permitiera predecir el peso al sacrificio de los pollitos (p120). Para ello, se realizó una correlación entre los pesos de los pollitos durante toda su vida productiva (p1-p120) en función del factor que inicialmente mostró significaciones entre los pesos, que fue el periodo de crianza (P1 y P2).

Para este fin, se realizó una χ^2 de Pearson para cada uno de los periodos de crianza (P1 y P2) que relacionó los pesos de los animales entre sí. Esto nos permitió determinar cuál era el primer peso que condicionaba el posterior crecimiento, y con ello establecer la ecuación de predicción.

La Tabla 3.12 muestra que, para el periodo más frío (P1), el peso de llegada de los animales a la explotación (p1) no afectó de forma significativa a ninguno de los pesos sucesivos ($p > 0,05$). Sin embargo, se observó que el p15 condicionó de forma significativa el resto de sucesivos pesos, hasta el peso al sacrificio (P120) ($p < 0,05$).

Tabla 3.12. Chi² de Pearson en función del periodo de crianza (P1)

		P1	P15	P30	P45	P60	P75	P90	P105	P120
p1	Correlación de Pearson	1,000	0,186	0,091	-0,052	-0,083	-0,091	-0,040	-0,175	-0,180
	Sig. (bilateral)		0,154	0,489	0,694	0,541	0,493	0,772	0,205	0,211
p15	Correlación de Pearson	0,186	1,000	0,524**	0,711**	0,638**	0,446**	0,345**	0,440**	0,409**
	Sig. (bilateral)	0,154		0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,001	0,003
p30	Correlación de Pearson	0,091	0,524**	1,000	0,763**	0,505**	0,512**	0,496**	0,256	0,192
	Sig. (bilateral)	0,489	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,062	0,183
p45	Correlación de Pearson	-0,052	0,711**	0,763**	1,000	0,670**	0,675**	0,470**	0,484**	0,532**
	Sig. (bilateral)	0,694	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
p60	Correlación de Pearson	-0,083	0,638**	0,505**	0,670**	1,000	0,947**	0,625**	0,670**	0,638**
	Sig. (bilateral)	0,541	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
p75	Correlación de Pearson	-0,091	0,446**	0,512**	0,675**	0,947**	1,000	0,609**	0,746**	0,639**
	Sig. (bilateral)	0,493	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000
p90	Correlación de Pearson	-0,040	0,345**	0,496**	0,470**	0,625**	0,609**	1,000	0,792**	0,691**
	Sig. (bilateral)	0,772	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
p105	Correlación de Pearson	-0,175	0,440**	0,256	0,484**	0,670**	0,746**	0,792**	1,000	0,756**
	Sig. (bilateral)	0,205	0,001	0,062	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
p120	Correlación de Pearson	-0,180	0,409**	0,192	0,532**	0,638**	0,639**	0,691**	0,756**	1,000
	Sig. (bilateral)	0,211	0,003	0,183	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

A partir de estos datos, se obtiene la ecuación que se detalla a continuación que permite obtener el peso al sacrificio (p120) de los animales criados en el periodo más frío (P1) conociendo el peso p15.

$$p120 = 2,34 + 5,20 \times p15$$

La Figura 3.12 muestra la distribución de los pesos en el periodo de crianza más frío (P1) en función de la pesada p15 y el peso al sacrificio (p120).

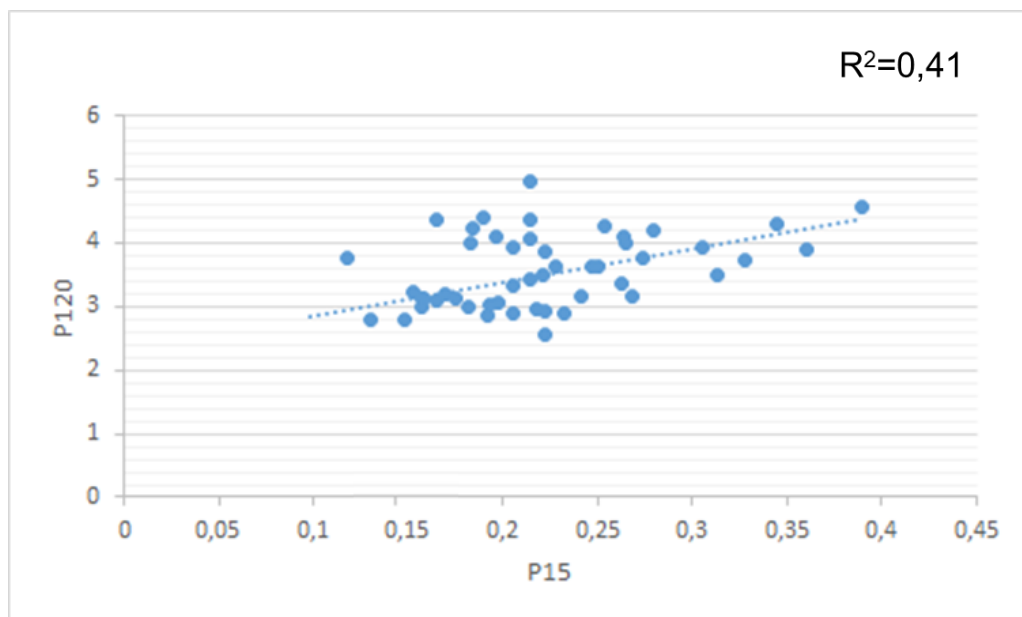


Figura 3.12. Modelo de regresión lineal para ambas estirpes (CY y RB) en el primer periodo (P1)

En el caso del periodo de crianza más cálido (P2); se observa en la Tabla 3.13 que la primera pesada de los animales (p1) condicionó los sucesivos pesos hasta el p45 ($p < 0,05$). Sin embargo, no se estableció relación del p1 con los posteriores pesos (del peso p45 en adelante) (Figura 3.13). De igual forma, se observó que el p15 condicionó las sucesivas pesadas hasta alcanzar el p75 ($p < 0,05$), mientras que el p30 condicionó el peso hasta alcanzar el p105 ($p < 0,05$). Finalmente, se muestra que fue la pesada p45 la que influyó sobre las sucesivas pesadas hasta el peso al sacrificio del pollo (p120) ($p < 0,01$).

Tabla 3.13. Chi² de Pearson en función del periodo de crianza (P2)

		p1	p15	p30	p45	p60	p75	p90	p105	p120
p1	Correlación de Pearson	1,000	0,284*	0,416**	0,411**	0,186	0,106	-0,045	-0,135	0,180
	Sig. (bilateral)		0,018	0,000	0,001	0,167	0,477	0,770	0,447	0,334
p15	Correlación de Pearson	0,284*	1,000	0,761**	0,488**	0,300*	0,314*	0,204	0,239	-0,105
	Sig. (bilateral)	0,018		0,000	0,000	0,014	0,019	0,143	0,124	0,521
p30	Correlación de Pearson	0,416**	0,761**	1,000	0,771**	0,675**	0,728**	0,671**	0,674**	0,282
	Sig. (bilateral)	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,078
p45	Correlación de Pearson	0,411**	0,488**	0,771**	1,000	0,770**	0,767**	0,710**	0,785**	0,649**
	Sig. (bilateral)	0,001	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
p60	Correlación de Pearson	0,186	0,300*	0,675**	0,770**	1,000	0,966**	0,926**	0,868**	0,773**
	Sig. (bilateral)	0,167	0,014	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
p75	Correlación de Pearson	0,106	0,314*	0,728**	0,767**	0,966**	1,000	0,962**	0,885**	0,727**
	Sig. (bilateral)	0,477	0,019	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000
p90	Correlación de Pearson	-0,045	0,204	0,671**	0,710**	0,926**	0,962**	1,000	0,927**	0,693**
	Sig. (bilateral)	0,770	0,143	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
p105	Correlación de Pearson	-0,135	0,239	0,674**	0,785**	0,868**	0,885**	0,927**	1,000	0,751**
	Sig. (bilateral)	0,447	0,124	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
p120	Correlación de Pearson	0,180	-0,105	0,282	0,649**	0,773**	0,727**	0,693**	0,751**	1,000
	Sig. (bilateral)	0,334	0,521	0,078	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral). **. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

La ecuación siguiente muestra la relación existente entre el p45 para obtener el peso al sacrificio (p120) en el periodo más cálido (P2).

$$p120 = 2,18 + 1,94 \times p45$$

La Figura 3.13 refleja la distribución de los pesos en el periodo cálido (P2) en función del p45 y el peso al sacrificio (p120)

En ambos casos, se observa que el valor obtenido para el coeficiente R en cada uno de los periodos es bajo ($R^2=0,41$; $R^2=0,53$ respectivamente). Para asegurar una mayor eficacia de la ecuación de predicción, el valor debe de estar próximo a 1.

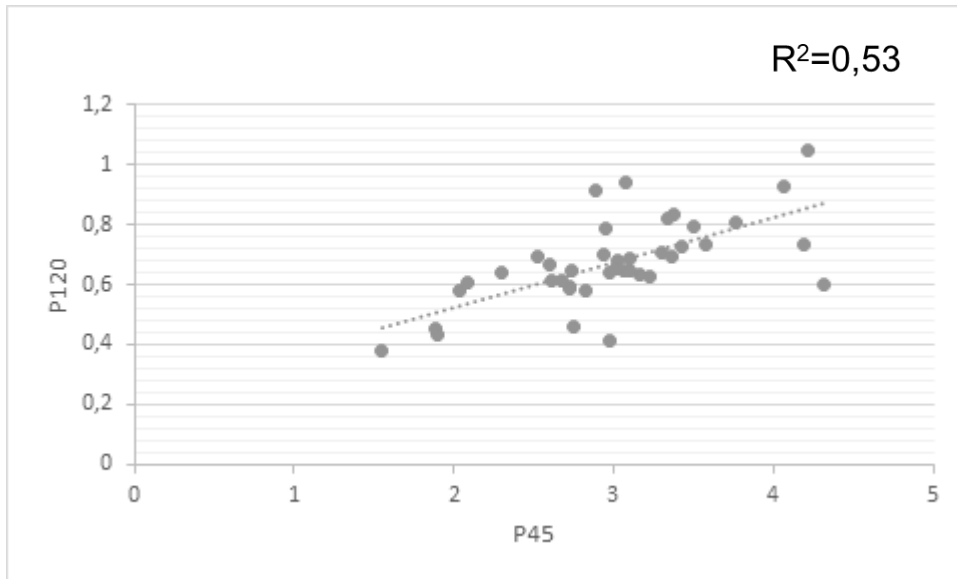


Figura 3.13. Modelo de regresión lineal para ambas estirpes (CY y RB) en el segundo periodo (P2)

En ambos casos, se observa que el valor obtenido para el coeficiente R en cada uno de los periodos es bajo ($R^2=0,41$; $R^2=0,53$ respectivamente). Para asegurar una mayor eficacia de la ecuación de predicción, el valor debe de estar próximo a 1.

Por ello, se planteó realizar un Modelo de regresión Múltiple (RTA) que incluyera el periodo de crianza, para calcular el peso esperado al cabo de 120 días (p120), el IC y el consumo para el periodo total de crecimiento de los pollitos, que queda descrito a continuación.

a. RTA Peso a los 120 días

El RTA más adecuado para predecir el peso de los pollos a la edad de 120 días (p120) incluyó las variables de peso a los 15 días (p15) y el periodo de crianza del animal (P1, P2). Para este caso se obtuvo un valor de R de 0,438 y un R^2 del 17 %, como se puede ver en la Tabla 3.14. La significación ANOVA es alta.

Tabla 3.14. RTA para el peso al cabo de 120 días

R	R ²	R ² ajustado	E.E de la estimación	Cambio en R ²	Cambio en F
0,438 ^b	0,192	0,171	0,508	0,059	5,574

E.E de la estimación: Desviación estándar de la estimación.

La fórmula obtenida del modelo fue:

$$p120est = 2,396 + (2,57 \times p15) + (0,287 \times per) + Err$$

Donde

- p120est= Peso vivo estimado a los 120 días (kg)
- p15= Peso vivo real a los 15 días de vida (kg)
- Per= Periodo estacional de cría del animal (1 ó 2).

- Err= Error.

Para comprobar el grado de concordancia entre los datos obtenidos durante el estudio frente a los planteados, y por tanto la fiabilidad de la ecuación, se realizó una prueba t de Student. Se observó que el peso al cabo de 120 días los pollitos de nuestro estudio (p120) presentaron un peso medio $3,29 \pm 0,06$ kg, mientras que el cálculo realizado a partir de la ecuación para estimar el peso (p120est) mostró un valor de $3,41 \pm 0,03$ kg. No se hallaron diferencias significativas entre ambos resultados ($p=0,767$), lo que implica que, desde el punto de vista estadístico son iguales. Estos hallazgos confirman la veracidad del modelo propuesto que permite obtener un peso al cabo de 120 muy similar al esperado.

b. RTA Para el consumo total

Para el consumo al cabo de 120 días (Tabla 3.15), el modelo se estableció teniendo en cuenta el periodo de crianza (P1, P2), la estirpe (CY, RB), y el consumo al cabo de 30 días (C1-30). Se obtuvo un valor de R de 0,863 que explica un 76,5 % la varianza del consumo a los 120 días. Esto permite obtener una significación de ANOVA máxima.

Tabla 3.15. RTA para el consumo al cabo de 120 días

R	R ²	R ² ajustado	E.E de la estimación	Cambio en R ²	Cambio en F
0,863 ^c	0,745	0,735	1,090	0,025	7,322

E.E de la estimación: Desviación estándar de la estimación

El modelo obtenido queda descrito con la siguiente fórmula

$$cons120est = 12,59 + (-2,74 * per) + (5.20 * C30) + (0.7 * est) + Err.$$

Donde:

- Consumo120est= Consumo de pienso en 120 días estimado (kg)
- Per= Periodo estacional de cría del animal (1 ó 2).
- C30= consumo real del animal en los primeros 30 días de vida (kg).
- Est= Estirpe utilizada (CY o RB; 1 ó 2)
- Err= Error.

Al igual que en el caso anterior, se estableció una prueba t de Student para muestras emparejadas que permitiera comparar nuestros datos para el consumo al cabo de 120 días con los obtenidos a partir de la ecuación descrita anteriormente. Para el consumo real al cabo de 120 días se obtuvo un consumo de $15,67 \pm 0,23$ kg mientras que los resultados obtenidos para la ecuación del consumo esperado fueron de $15,67 \pm 0,20$ kg. Las diferencias halladas entre ambos valores no fueron estadísticamente significativas ($p=0,987$). Estos resultados confirman la veracidad de la ecuación obtenida.

c. RTA para el índice de conversión

En cuanto al IC para el periodo total (IC120), el modelo se realizó a partir

del periodo de crianza (P1, P2) y el consumo a los 30 días que mostró un valor de R de 0,878 que explica un 76 % la varianza del IC (Tabla 3.16). Este resultado obtiene una significación ANOVA máxima.

Tabla 3.16. RTA para el IC al cabo de 120 días

R	R ²	R ² ajustado	E.E de la estimación	Cambio en R ²	Cambio en F
0,878 ^b	0,772	0,766	0,751724	0,168	56,019

E.E de la estimación: Desviación estándar de la estimación.

La ecuación obtenida para el IC120 fue la siguiente:

$$IC120_{est} = 3,47 + (2,2 * per) + (3,55 * C30) + Er$$

Donde:

- IC120_{est}= Índice de Conversión a los 120 días de vida del animal estimado por el modelo.
- Per= Periodo estacional de cría del animal.
- C30= consumo real del animal en los primeros 30 días de vida.
- Err= Error

Al comparar los datos reales obtenidos para el IC al cabo de 120 días con los calculados a partir de la ecuación propuesta en el modelo mediante una prueba t para muestras emparejadas; se obtuvo un valor medio de 10,84±0,18 para el IC real obtenido en el estudio, mientras que para el calculado fue de 10,82±0,15. Las diferencias halladas entre ambos valores, no fueron significativas (p=0,84), lo que implica que desde el punto de vista estadístico los datos fueron iguales. Estos resultados confirman la fiabilidad del modelo para establecer el IC al cabo de 120 días.

Los modelos de regresión múltiple (RTA) se usan ampliamente para estimar el peso corporal de los animales en el futuro utilizando sus medidas corporales a edades tempranas. La fiabilidad de los resultados de los estudios con tales objetivos está estrechamente relacionada con el uso de métodos estadísticos apropiados en el análisis de datos. Especialmente en casos como el uso de grandes conjuntos de datos, una alta correlación entre variables independientes (problemas de multicolinealidad), un alto número de variables independientes (tanto continuas como categóricas) y la presencia de relaciones no lineales entre las variables, el método RTA proporciona ventajas al investigador tanto para obtener resultados más confiables como para interpretarlos más fácilmente (Mendes *et al.*, 2009).

Mendes *et al.* (2009) describió el peso predictivo en matadero basándolo en distintas variables. Estos autores consideraron que la importancia de los coeficientes de correlación entre el peso del sacrificio y el peso corporal de la segunda semana, la longitud del hueso del pecho, la circunferencia de la pechuga y el ancho del vástago sugeriría que los cambios en estas variables pueden afectar significativamente la predicción del peso del sacrificio, lo que podría considerarse como otro indicador de la robustez de la RTA. El incremento en el número de variables medidas, podría ser una opción para aumentar el

coeficiente R^2 , incrementando así la fiabilidad de la ecuación de predicción. Por otro lado, debe tenerse en cuenta que solo el uso de correlaciones entre el peso del sacrificio y otras variables puede no ser suficiente para determinar los factores que afectan a una variable dependiente (Mendes *et al.*, 2009).

Próximos estudios, deberían incluir el registro de nuevas variables a lo largo de la vida productiva de los animales. Esto permitiría el diseño de modelos más precisos (valores de R más próximos a 1), que pudieran dar una mayor veracidad en la predicción del peso al matadero de los animales, siendo una herramienta útil para los ganaderos.

4. CALIDAD DE LA CARNE

a. Composición nutricional

La Tabla 3.17 recoge los valores obtenidos de las pechugas analizadas en función de la estirpe (CY y RB) y el periodo estudiado, para los parámetros de humedad, cenizas, grasa bruta y TBARS. Por otra parte, la Tabla 2.15 recoge la composición individual de ácidos grasos de la pechuga en función de los factores descritos, mientras que la Tabla 3.17 muestra las principales fracciones de ácidos grasos hallados.

Tabla 3.17 Efecto del periodo (P1 y P2) y de la estirpe (CY y RB) sobre la humedad (%), cenizas (%), grasa total (%) y oxidabilidad de la grasa (mg de MDA/kg carne) en la carne de pechuga (*Pectoralis major*)

	P1		P2		p		
	CY	RB	CY	RB	E	P	Exp
Humedad	73,52 ± 1,38	75,23 ± 4,32	68,29 ± 4,66	74,00 ± 4,24	*	*	ns
Cenizas	1,25 ± 0,15	1,18 ± 0,09	1,23 ± 0,06	1,08 ± 0,19	*	ns	ns
Grasa	1,45 ± 0,63	1,38 ± 0,38	1,11 ± 0,44	1,26 ± 0,58	ns	ns	ns
TBARS	0,050 ± 0,006	0,048 ± 0,002	0,048 ± 0,002	0,049 ± 0,003	ns	ns	ns

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05

E: Estirpe; P: Periodo. P1: periodo 1; P2: periodo 2; CY: ColorYield; RB: RedBro

Humedad

Los valores obtenidos en nuestro estudio para el contenido en humedad se encuentran dentro del rango mostrado por autores previos cuando utilizaron estirpes de crecimiento medio-lento, como los mostrados por Meluzzi *et al.* (2009) (72,3 %), Dal Bosco *et al.* (2011) (73,8 %) y más bajos que los obtenidos por Castellini *et al.* (2002) (77,18 %).

Se observó un valor significativamente más alto (p >0,05) del contenido en humedad en la pechuga de los pollos pertenecientes a la estirpe RedBro (74,61 vs. 70,90 %) de forma independiente al periodo de estudio (P1 y P2) (Figura 3.14).

Por su parte, Fanatico *et al.* (2005) (crecimiento medio) y Díaz *et al.* (2010) (crecimiento lento) no encontraron variaciones en el contenido en humedad cuando compararon dos estirpes con el idéntico tipo de crecimiento entre sí. En ambos estudios, las estirpes fueron criadas bajo las mismas condiciones

ambientales. Fanatico *et al.* (2005) únicamente encontraron variaciones en el contenido en humedad cuando los animales tuvieron acceso al exterior frente a los que estuvieron en condiciones intensivas; por lo que finalmente, estos autores concluyeron que la capacidad del genotipo para influir sobre la composición química de la pechuga es limitada, teniendo una mayor influencia los factores de crianza. Por otra parte, Dal Bosco *et al.* (2011) no hallaron diferencias en el contenido en humedad cuando se compararon razas con distinto tipo de crecimiento (crecimiento lento e intermedio); mientras que, Meluzzi *et al.* (2009) encontraron un incremento significativo de la humedad cuando se comparaba la pechuga de aves de crecimiento lento frente a las de crecimiento intermedio. Cabe destacar, que Castellini *et al.* (2002) hallaron los mismos valores del contenido en humedad para las estirpes de crecimiento lento y rápido, mientras que las estirpes de crecimiento medio mostraron valores intermedios. Por lo que, a tenor de los resultados previos relativos a razas de diferentes tipos de crecimiento, sorprende la existencia de diferencias significativas entre estirpes halladas en nuestro estudio.

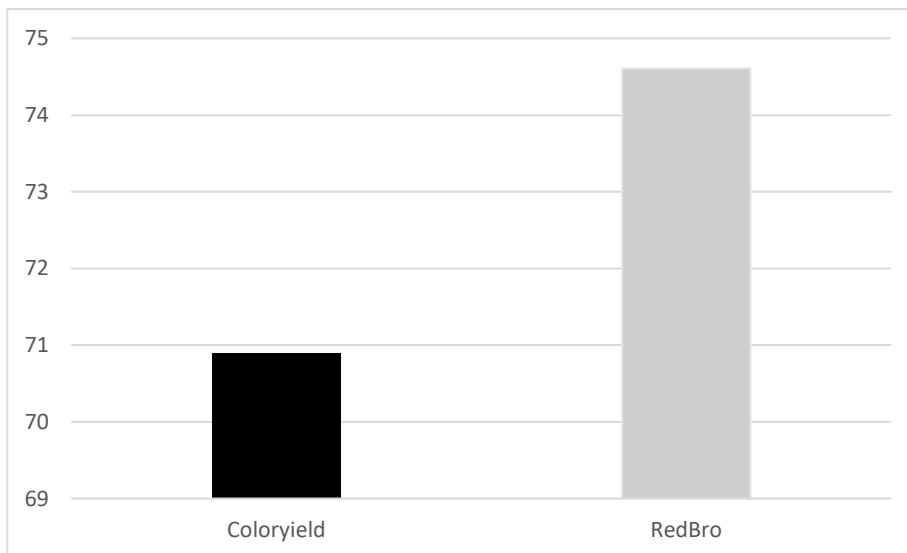


Figura 3.14. Humedad de la pechuga (%) en función de la estirpe (CY y RB)

Nuestros resultados mostraron que la carne de pechuga criada en periodos más fríos (P1) tuvo un valor para el contenido en humedad significativamente mayor ($p < 0,05$) frente a las más cálidas (P2) (74,38 vs. 71,15 %) (Figura 3.15). Coincidiendo con nuestros resultados, son los publicados por Akşit *et al.* (2006) quienes hallaron una disminución de la humedad en la carne de la pechuga a medida que incrementaba la temperatura de crianza y que relacionaron con una caída en el contenido en proteína. En contraste, Bianchi *et al.* (2007) y Zhang *et al.* (2012) encontraron un incremento significativo de la humedad cuando se aumentaban las temperaturas de forma constante.

Finalmente, se observó que la interacción entre los factores de estirpe y periodo de crianza no tuvo un efecto estadísticamente significativo ($p > 0,05$) sobre el contenido en humedad.

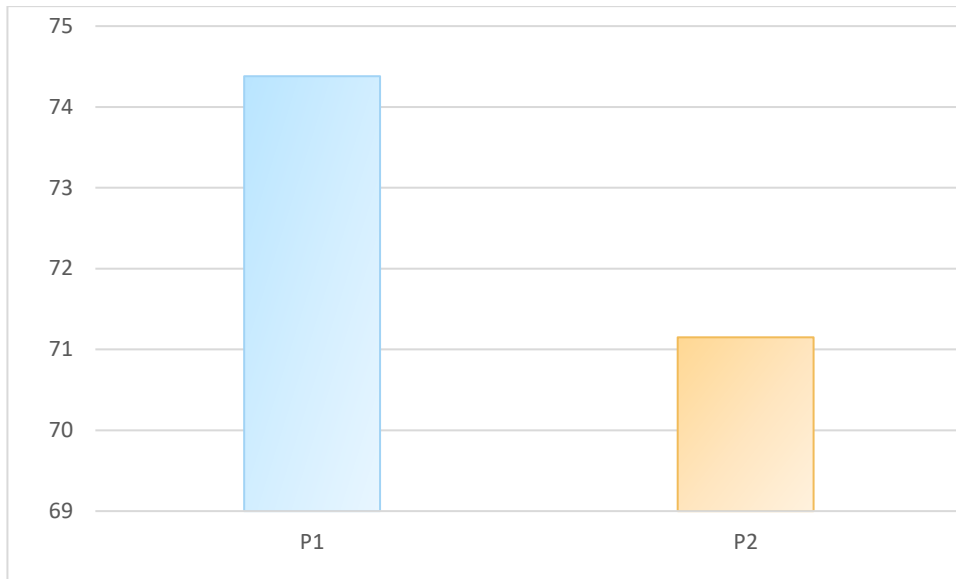


Figura 3.15. Contenido en humedad (%) de la pechuga (*Pectoralis major*) en función del periodo de crianza (P1 y P2)

Grasa

Los resultados obtenidos (Tabla 3.17) fueron inferiores para el contenido en grasa en comparación a los publicados por Fanatico *et al.* (2005) (4,74-4,84 %) y Dal Bosco *et al.* (2011) (3,29 %), pero más altos que los descritos por Castellini *et al.* (2002) (0,67 %) y similares a los mostrados por Meluzzi *et al.* (2009) (1,00 %) y Cömert *et al.* (2016) (1,31 %) para otras estirpes de crecimiento medio-lento. Las variaciones mostradas entre los distintos estudios con respecto a nuestros resultados, pueden residir en la edad de sacrificio de los animales la cual varía en función de los estudios consultados. Fanatico *et al.* (2005) describieron un incremento de la grasa a medida que aumentaban los días de crianza y un descenso en el contenido en humedad.

No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre ambas estirpes de crecimiento medio para el contenido en grasa (%) de la pechuga. En consonancia, Fanatico *et al.* (2005) no hallaron diferencias en el contenido en grasa cuando compararon dos estirpes de crecimiento medio entre sí. Esto coincide con lo descrito por Díaz *et al.* (2010), que no hallaron variaciones para el contenido en grasa cuando compararon dos estirpes de crecimiento lento con idénticas condiciones de crianza. Sin embargo, parece ser que el contenido en grasa sí que se puede ver afectado cuando la línea de crecimiento es diferente. Meluzzi *et al.* (2009) describieron que las estirpes de crecimiento medio y lento mostraron un contenido menor de grasa (-30 %) frente a las estirpes de crecimiento rápido. Por otro lado, Castellini *et al.* (2002), Dal Bosco *et al.* (2011) hallaron valores significativamente mayores para el contenido en grasa en los pollitos de estirpes de crecimiento medio frente a las de crecimiento lento. Latter-Dubois *et al.* (2000) sin embargo, no hallaron diferencias para el contenido en grasa entre las distintas estirpes estudiadas, aunque estos últimos coincidieron en un incremento numérico del contenido en grasa en las estirpes de crecimiento lento. Distintos autores, han considerado que este hecho se produce como

consecuencia de la menor actividad que realizan las aves de crecimiento rápido, ya que permanecen más tiempo tumbados y tienen menos comportamiento de búsqueda aun cuando se les crían en ambientes al aire libre (Castellini *et al.*, 2002; Dal Bosco *et al.*, 2012). Estos hallazgos justifican la ausencia de diferencias halladas en nuestros resultados para el contenido en grasa, ya que las variaciones descritas en estudios previos se produjeron cuando las estirpes tenían distinto tipo de crecimiento.

En cuanto al periodo de crianza, tampoco se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$); si bien es cierto, se observó un incremento numérico de la cantidad de grasa en las épocas más frías (P1) frente a las épocas cálidas (P2) (1,42 vs. 1,19 %). Esto coincide con lo publicado por Ain Baziz *et al.* (1996) y Geraert *et al.* (1996). El aumento de la deposición de grasa podría estar relacionado con la reducción en el metabolismo basal y de la actividad física asociado a temperaturas más bajas. En contraste, otros autores (Howlider *et al.*, 1987; Lu *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2012) mostraron que a altas temperaturas tuvo lugar una deposición de grasa significativamente mayor en el músculo de la pechuga en comparación con el grupo de control estándar. Estos autores consideran que la deposición de grasa abdominal mejorada en pollos expuestos a altas temperaturas es probablemente una regulación adaptativa; cuanta más energía se almacenaba como grasa, menor era el calor producido, mejorando la situación de estos animales ante el incremento de temperatura. Frente a esto, Bianchi *et al.* (2007) no hallaron diferencias para el contenido en grasa en función de la época de crianza de los animales. Los diferentes resultados mostrados anteriormente entre los estudios consultados, podrían estar relacionadas con la edad del animal, el modelo de exposición al calor realizado en el experimento (constante o cíclico), el método utilizado para medir el índice de grasa en los distintos estudios o la raza de pollo utilizada.

Cenizas

Los valores obtenidos (Tabla 3.17) para el contenido en cenizas (%) en las estirpes estudiadas fueron superiores a los obtenidos por Castellini *et al.* (2002) (0,64 %) y Dal Bosco *et al.* (2011) (0,85 %), e inferiores a los publicados por Cömert *et al.* (2016) (1,31 %) y Meluzzi *et al.* (2009) (1,37 %) en otras estirpes de crecimiento medio-lento.

El contenido en cenizas fue significativamente mayor ($p < 0,05$) en la estirpe ColorYield, frente a la RedBro (1,23 vs. 1,13 %) de forma independiente al periodo de crianza (P1 y P2). Este hecho, queda reflejado en la Figura 3.16. Fanatico *et al.* (2005) por otra parte, no hallaron variaciones en el contenido en cenizas cuando compararon dos estirpes de crecimiento medio, y Díaz *et al.* (2010) no hallaron variaciones entre dos estirpes de crecimiento lento criadas en las mismas condiciones. Meluzzi *et al.* (2009) indicaron un incremento significativo del contenido en cenizas de las estirpes de crecimiento medio-lento frente a las estirpes de crecimiento rápido y lento. En contraste, Da Silva *et al.* (2017) hallaron un incremento mientras que Dal Bosco *et al.* (2011) no hallaron diferencias para el contenido en cenizas entre estirpes de crecimiento lento y medio, ni con las estirpes de crecimiento rápido (Castellini *et al.*, 2002; Fanatico *et al.*, 2005). Parece por tanto que la capacidad del genotipo, incluso cuando es diferente (rápido vs. lento), para influir sobre la composición en cenizas de la

pechuga es limitada. Se requieren posteriores estudios que verifiquen los hallazgos de nuestro estudio.

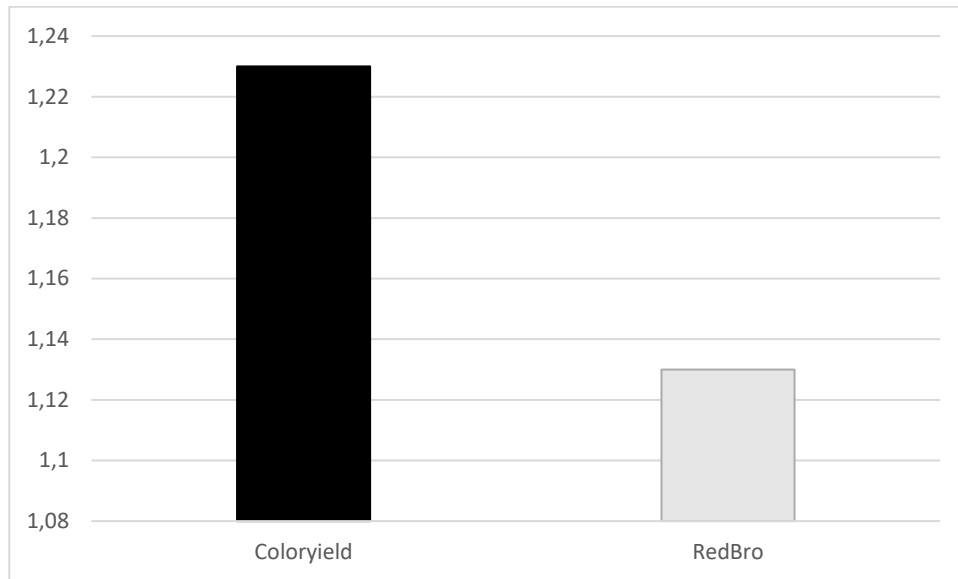


Figura 3.16. Contenido en cenizas (%) de la pechuga (*Pectoralis major*) en función del de la estirpe (CY y RB)

Nuestro estudio no reflejó diferencias significativas ($p < 0,05$) para el contenido en cenizas en función del periodo de crianza (P1 y P2). De igual modo, Akşit *et al.* (2006) tampoco encontraron diferencias significativas para este parámetro cuando se modificaba la temperatura. Frente a esto, Bianchi *et al.* (2007) encontraron que los pollos criados durante el invierno tuvieron un contenido en cenizas significativamente mayor que los que se habían criado durante el verano. Al igual que en el contenido en humedad, los motivos por el que se produce la variación en la composición química se relacionan con los cambios sobre el contenido proteína; sin embargo, las causas por las que se produce no han sido descritas en profundidad.

La interacción entre ambos factores (estirpe x periodo de crianza) no mostró diferencias significativas para el contenido en cenizas de la pechuga.

Finalmente, se puede resumir que los animales criados en el periodo más frío (P1) mostraron un mayor contenido en humedad, grasa y cenizas, lo que consecuentemente se relacionaría con el menor contenido en proteínas frente a los criados en condiciones más cálidas (P2). En contraste, Yalçin *et al.* (1999) y Aksit *et al.* (2006) hallaron un descenso en el contenido en proteína cuando se sometieron a condiciones de temperatura elevada.

Oxidabilidad de las grasas

Nuestros valores para el contenido en MDA de la pechuga (Tabla 3.17) fueron inferiores a los obtenidos por Castellini *et al.* (2002) (1,8 mg/MDA) y Dal Bosco *et al.* (2011) (1,75 mg/MDA) para otras razas de crecimiento medio-lento.

La oxidabilidad de las grasas no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las estirpes estudiadas. Dal Bosco *et al.* (2011) describieron un incremento significativo del valor TBARS en los animales procedentes de estirpes de crecimiento medio frente a las de crecimiento lento, que podría deberse al menor nivel de grasa muscular de éstas últimas, y, por lo tanto, al menor sustrato disponible susceptible a la peroxidación lipídica. Mientras que, Castellini *et al.* (2002) observaron que las estirpes de crecimiento rápido cuando son criadas en sistemas al aire libre, pasan más tiempo descansando que las estirpes de crecimiento medio. En base a esto, los autores consideran que como consecuencia de una mayor actividad física las estirpes de crecimiento medio, aumentan el metabolismo oxidativo que repercute en un incremento del valor de TBARS. Sin embargo, un valor de TBARS de 1 o menos, o aproximadamente 0,8 mg de MDA por kilogramo de carne, generalmente no se considera indicativo de rancidez perceptible (O'Neill *et al.*, 1998), por lo que nuestros valores se encontraron dentro del rango de normalidad.

No se observaron diferencias para el valor de TBARS en la pechuga entre los distintos periodos de crianza (P1 y P2). Los estudios consultados no han evaluado el TBARS en la pechuga en función de las condiciones ambientales.

Perfil lipídico

Los ácidos grasos predominantes en la pechuga de pollo en todos los tratamientos (Tabla 3.18) fueron el ácido palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0) como ácidos grasos saturados (SFA); el ácido oleico (C18:1 n-9c) como ácido graso monoinsaturado (MUFA) y el ácido linoleico (C18:2 n-6c) como ácido graso poliinsaturado (PUFA). Nuestros resultados coinciden con los mostrados por autores previos (Ponte *et al.*, 2008; Dal Bosco *et al.*, 2012; 2014; Popova *et al.*, 2018) tanto en los ácidos grasos predominantes, como en el valor de los mismos en otras estirpes de crecimiento medio.

No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las distintas estirpes (CY y RB) salvo para el ácido docosadienoico (C20:2 n-6) donde se observó un incremento significativo en el contenido ($p < 0,05$) en los animales pertenecientes a la estirpe ColorYield; aunque las causas de este hecho no han sido descritas por autores previos, pudiendo ser únicamente anecdótica. Estos resultados se encuentran parcialmente de acuerdo con lo descrito por Popova *et al.* (2018), quienes hallaron significativas únicamente para el ácido palmítico y esteárico en dos estirpes de crecimiento lento criadas bajo las mismas condiciones.

Por otra parte, Mikulski *et al.* (2011) describieron la ausencia de diferencias en la composición individual de ácidos grasos en el músculo de la pechuga cuando compararon estirpes con distinto tipo de crecimiento en las mismas condiciones de crianza. De forma similar, Cömert *et al.* (2016)

describieron que la estirpe no modificó la composición individual de ácidos grasos salvo para el ácido araquidónico que se incrementó de forma significativa para los pollitos de crecimiento rápido frente a los de crecimiento lento; aunque los autores no describieron los motivos de este hecho. Frente a esto, Dal Bosco *et al.* (2012) hallaron un incremento del ácido esteárico y palmítico en las estirpes de rápido crecimiento frente a las de crecimiento medio y lento, atribuyendo este hecho a la combinación de edad, baja actividad cinética y el alto consumo de alimento, que dieron como resultado una mayor acumulación de grasa en los músculos. Castellini *et al.* (2006) describieron un menor contenido en ácidos grasos n-3 en las estirpes de crecimiento lento. Estos autores consideraron que, a pesar del mayor consumo de forraje fresco, los niveles más bajos de ácido α -linolénico (ALA) en la carne cuando se comparan estirpes de crecimiento lento frente a las de crecimiento rápido, podrían explicarse por la mayor conversión de este ácido graso en los derivados de cadena larga

Tabla 3.18. Composición del perfil lipídico (g/100 g de ácidos grasos) de la pechuga de genotipos estudiados (CY, RB) en los distintos periodos (P1, P2)

	P1		P2		p		
	CY	RB	CY	RB	E	P	Exp
A. Mirístico (C14:0)	0,82 ± 0,39	0,97 ± 0,32	0,68 ± 0,14	0,84 ± 0,37	ns	ns	ns
A.Mirístoleico (C14:1 n-5)	0,20 ± 0,14	0,19 ± 0,10	0,23 ± 0,17	0,21 ± 0,09	ns	ns	ns
A.Palmitico (C16:0)	22,30 ± 1,74	22,77 ± 2,40	19,89 ± 1,65	21,95 ± 3,57	ns	ns	ns
A.Palmitoleico (C16:1 n-9)	2,92 ± 1,04	3,60 ± 1,80	2,21 ± 0,36	3,36 ± 1,37	ns	ns	ns
A.Margárico (C17:0)	0,19 ± 0,05	0,15 ± 0,01	0,21 ± 0,05	0,19 ± 0,05	ns	ns	ns
A.Esteárico (C18:0)	8,13 ± 2,78	8,13 ± 3,41	9,43 ± 2,99	8,86 ± 3,56	ns	ns	ns
A.Oleico(C18:1 n-9c)	25,43 ± 2,02	25,79 ± 6,71	23,77 ± 2,46	25,19 ± 3,36	ns	ns	ns
A.Elaídico (C18:1 n-9t)	2,06 ± 0,37	1,97 ± 0,45	1,92 ± 0,63	2,05 ± 0,37	ns	ns	ns
A.Linoleico (C18:2 n-6c)	25,12 ± 1,92	27,14 ± 7,72	28,59 ± 5,43	26,10 ± 7,14	ns	ns	ns
A. α -Linolénico (C18:3 n-3)	0,98 ± 0,28	0,56 ± 0,26	0,57 ± 0,24	1,09 ± 0,26	ns	ns	ns
A. γ -Linolénico (C18:3 n-6)	0,19 ± 0,01	0,20 ± 0,06	0,14 ± 0,03	0,16 ± 0,00	ns	ns	ns
A.Araquídico (C20:0)	0,08 ± 0,16	0,07 ± 0,03	0,10 ± 0,02	0,06 ± 0,04	ns	ns	ns
A.Docosadienoico (C20:2 n-6)	0,22 ± 0,04	0,19 ± 0,03	0,29 ± 0,08	0,15 ± 0,06	*	ns	ns
A.Eicosatetraenoico (C20:4 n-3)	0,93 ± 0,44	0,89 ± 0,65	1,07 ± 0,58	1,13 ± 0,98	ns	ns	ns
A.Araquidónico (20:4 n-6)	7,63 ± 3,45	9,90 ± 3,05	6,74 ± 0,66	6,00 ± 1,19	ns	ns	ns
DPA (C22:5 n-3)	0,31 ± 0,08	0,43 ± 0,09	0,34 ± 0,02	0,28 ± 0,11	ns	ns	ns

Los resultados se presentan como media \pm desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05

EST: Estirpe; P: Periodo. P1: periodo 1; P2: periodo 2; CY: ColorYield; RB: RedBro

Con respecto al periodo de crianza (P1 y P2), tampoco se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) cuando se analizaron de forma individual los ácidos grasos. En contraste, Ain Baziz *et al.* (1996) encontraron que la exposición al calor modificó la composición individual del perfil de ácidos grasos. Estos autores describieron que, las aves expuestas al calor exhibieron mayores proporciones de ácido palmítico y, a la inversa, menores niveles de ácido oleico y linoleico (C18:2 n-6c) en la grasa abdominal y subcutánea. En nuestro caso, también se observaron niveles más bajos de ácido oleico (25,61 vs. 24,48 %) y linoleico (C18:2) (2,015 vs. 1,98 %) en las aves criadas en el periodo más cálido. Probablemente la ausencia de diferencias significativas halladas en nuestro estudio, se debe a que las temperaturas no se mantuvieron constantes como en

el caso de los estudios anteriores realizados en sistemas de producción industrial con condiciones controladas. Ponte *et al.* (2008) describieron que, en primavera, los niveles de ácido eicosapentaenoico (C20:5 n-3) en la carne de pechuga fueron significativamente mayores en aves que accedían al pasto, lo que sugiere una mayor conversión de ácido alfa-linolénico en ácido eicosapentaenoico en estas aves. Aunque en este caso las variaciones se han atribuido más que al efecto de las condiciones climáticas, al consumo de pastos más abundantes como consecuencia de las estaciones meteorológicas. Por otra parte, los resultados de nuestro estudio plantean que la ausencia de diferencias puede estar justificada por un consumo más limitado de pasto cuando se les ofrece a los pollos leguminosas en el pienso como las que incluía nuestro experimento, lo que estaría de acuerdo con lo descrito por Ponte *et al.* (2007)

Nuestros resultados para las fracciones totales de ácidos grasos (Tabla 3.19) fueron similares a las presentadas por Ponte *et al.* (2008) para el contenido en Σ MUFA (29,8-30,2 %), para el contenido en Σ SFA (35,8-37,2 %), y superiores para el contenido en Σ PUFA (29,6-31,3 %). Ponte *et al.* (2008) mostraron valores inferiores para el contenido en Σ n-3 (2,20-2,47 %) y el contenido en Σ n-6 (27,3-28,7 %) en estirpes de crecimiento medio (RedBro), que habían sido criadas con acceso a pastos. Sin embargo, Dal Bosco *et al.* (2012) hallaron niveles más altos para el contenido en SFA (44,0-44,9 %), e inferiores para MUFA (25,3-26,4 %) y PUFA (29,6-29,8 %). El contenido en n-3 (1,57-1,80%) fue superior al obtenido en nuestro estudio, pero inferior para el contenido en n-6 (27,8-28,2 %) para otras estirpes de crecimiento medio.

Tabla 3.19. Composición de las fracciones totales de ácidos grasos (g/100 g de ácidos grasos) de la pechuga de los genotipos estudiados en los distintos periodos

	P1		P2		p		
	CY	RB	CY	RB	EST	PER	Exp
SFA	33,70 ± 2,76	34,24 ± 3,52	30,75 ± 4,21	31,56 ± 2,28	ns	**	ns
Σ MUFA	30,14 ± 2,55	29,58 ± 7,70	27,70 ± 4,09	29,42 ± 2,49	ns	ns	ns
Σ PUFA	36,88 ± 3,52	35,99 ± 9,29	41,47 ± 4,92	39,68 ± 2,71	ns	*	ns
Σ SFA/ Σ PUFA	0,93 ± 0,15	1,07 ± 0,52	0,76 ± 0,17	0,80 ± 0,10	ns	*	ns
Σ n-3	1,31 ± 0,78	0,79 ± 0,45	1,09 ± 0,50	1,14 ± 0,36	ns	ns	ns
Σ n-6	35,42 ± 3,12	35,12 ± 9,06	40,33 ± 4,60	38,49 ± 9,06	ns	*	ns
Σ n-6/ Σ n-3	31,40 ± 9,62	56,66 ± 32,72	37,43 ± 13,66	43,75 ± 19,31	ns	ns	*

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05 ** p <0,01

EST: Estirpe; P: Periodo. P1: periodo 1; P2: periodo 2; CY: ColorYield; RB: RedBro

SFA: Ácidos grasos saturados; MUFA; ácidos grasos monoinsaturados; PUFA; ácidos grasos poliinsaturados; n-3; ácidos grasos omega 3; n-6: ácidos grasos omega 6.

No se observaron diferencias significativas (p >0,05) entre ambas estirpes para el contenido total las distintas fracciones de ácidos grasos (Σ SFA, Σ MUFA, Σ PUFA), ni para las fracciones de PUFA (n-3 y n-6). Por otra parte, Popova *et al.* (2018) describieron diferencias significativas para el contenido en SFA, PUFA y n-3 cuando compararon dos estirpes de crecimiento lento, las causas de este hecho han sido atribuidas a características inherentes de estas estirpes autóctonas. Por otra parte, Cömert *et al.* (2016) no hallaron variaciones entre estirpes de crecimiento rápido y lento para ninguno de las fracciones de ácidos grasos estudiados (SFA, MUFA, PUFA, n-6, n-3). Estos autores mostraron que las variaciones halladas en su estudio no dependieron del genotipo sino del

sistema de producción. Estos autores mostraron un incremento significativo del total de SFA, MUFA y n-3 en pollitos (crecimiento rápido y lento) que habían sido criados en sistemas de producción ecológica; mientras que los valores totales de PUFA y n-6 y el ratio n-6/n-3 fueron significativamente mayores en el sistema de producción industrial. Castellini *et al.* (2002) determinaron patrones similares con respecto a SFA y los valores totales de n-3 en las pechugas; reafirmando que la influencia del genotipo es limitada frente al sistema productivo, y con ello el consumo de pastos.

Nuestros resultados están de acuerdo con lo descrito por Dal Bosco *et al.* (2012) que no hallaron variaciones en las principales fracciones de ácidos grasos cuando compararon estirpes de crecimiento medio entre sí. Sin embargo, estos autores describieron un descenso en el nivel de MUFA en las estirpes de crecimiento lento, mientras que hallaron un nivel más alto de SFA en las estirpes de crecimiento rápido. Meluzzi *et al.* (2010) no hallaron diferencias significativas en cuanto a SFA, entre las estirpes de crecimiento medio, lento y rápido; sin embargo, observaron que en las estirpes de crecimiento rápido se incrementó el nivel de PUFA, n-6 y n-3 y disminuyó el de MUFA frente a las estirpes de crecimiento lento; mientras que, las estirpes de crecimiento medio mostraron valores comprendidos entre ambos para estos parámetros. Por lo que en base la literatura consultada, el efecto del genotipo sobre las variaciones de fracciones de ácidos grasos es limitado.

Con respecto al periodo de crianza los valores obtenidos se reflejan en la Figura 3.17. Nuestros resultados mostraron un incremento significativo ($p < 0,01$) del contenido total de Σ SFA en la pechuga de los pollitos que habían sido criados en el periodo más frío (P1) (33,97 vs. 31,55). Mientras que, se produjo un incremento significativo ($p < 0,05$) del contenido en Σ PUFA (40,58 vs. 36,44) y de Σ n-6 (39,41 vs. 35,27) para la carne de los pollitos que habían sido criados en condiciones más cálidas (P2).

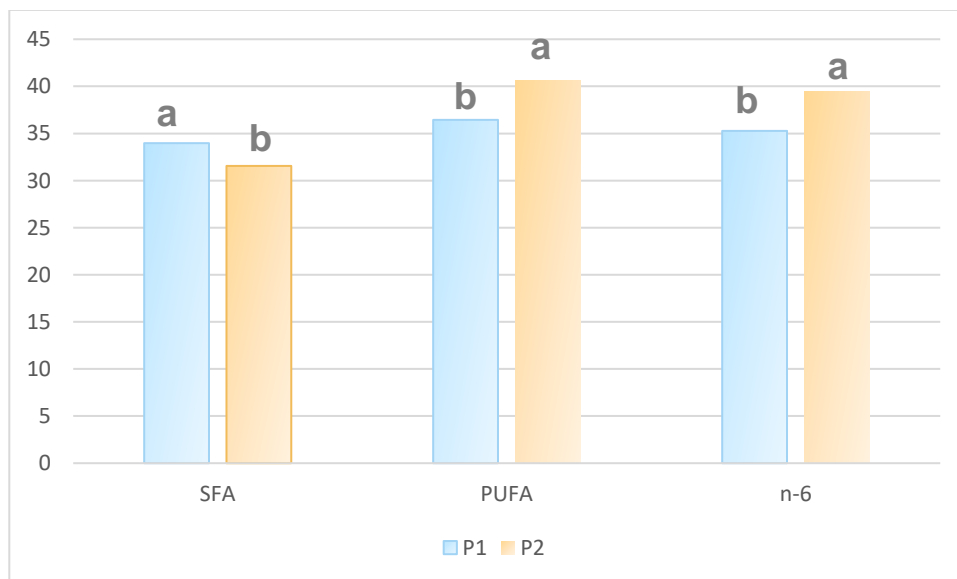


Figura 3.17. Efecto del periodo de crianza sobre el contenido en SFA, MUFA, PUFA n-3 y n-6 en la pechuga de los pollos

No se observaron diferencias en función del periodo (P1, P2) para el contenido en Σ MUFA y en n-3 ($p > 0,05$), mientras que la relación Σ SFA/ Σ PUFA fue significativamente mayor ($p < 0,05$) para aquellos animales criados en el periodo más frío (P1) (1,00 vs. 0,78). La relación entre el contenido n-6/n-3 no fue significativo ($p > 0,05$) para el periodo de crianza; sin embargo, la interacción entre el genotipo utilizado y el periodo fue significativamente mayor ($p > 0,05$) para la estirpe RB durante el periodo más frío (P1).

Estos resultados están de acuerdo con los de Sonaiya (1988) encontró un aumento de PUFA a medida que se incrementaba la temperatura. Frente a esto, Ain Baziz *et al.* (1996) describieron que, en condiciones de calor, el total de SFA se incrementó en la grasa abdominal y en las grasas subcutáneas e intermusculares del muslo, la proporción de MUFA no disminuyó significativamente; y, sin embargo, la proporción de PUFA se redujo significativamente en la grasa abdominal debido a la exposición al calor. Estos autores consideraron que el cambio en la proporción de ácidos grasos insaturados a saturados no se explicó por una ingesta reducida de alimento en condiciones de calor.

No debemos olvidar que las temperaturas de crianza en los estudios anteriormente citados, fueron muy superiores a las máximas registradas en nuestro periodo cálido (P2) (32 °C vs. 25 °C) y que, en los estudios consultados, las temperaturas se mantuvieron constantes sin sufrir oscilaciones. Es por ello, que quizá los cambios observados tanto en la composición individual de los ácidos grasos y en el acumulativo se deban a temperaturas más extremas que las reflejadas en nuestro estudio.

No obstante, se debe considerar que, aunque en todos los casos los animales tuvieron acceso al aire libre y consecuentemente al pasto, durante las condiciones cálidas (P2) es probable que los pollos ingirieran una mayor cantidad de pasto debido al aumento en la disponibilidad del mismo. Este hecho estaría de acuerdo con lo descrito por Žlender *et al.* (2000) y Meluzzi *et al.* (2010) que consideraron que las diferencias halladas en sus estudios pueden atribuirse a la mayor ingesta de pastos de unos grupos frente a otros. El ácido linoleico (C18:2) presente en la nutrición de los pollos ecológicos (pastos) causa la disminución del contenido en MUFA, predominantemente el ácido oleico (C18:1) y el aumento del ácido α -linolénico (C18:3) (siendo un 11 % mayor que en el caso de los pollos criados en sistemas intensivos), y en menor medida, del ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA). Además, la cantidad de ácidos grasos n-6 y n-3 en la crianza en libertad crece linealmente, en primer lugar, el ácido linoleico y luego el ácido linolénico (Žlender *et al.*, 2000), lo que coincide con lo descrito en nuestro estudio.

b. Características tecnológicas

Las Tablas 3.20 y 3.21 recogen los valores obtenidos para los parámetros analizados referentes a las características tecnológicas. En la Tabla 3.20 se exponen los resultados obtenidos para el color (L^* , a^* , b^*) mientras que la Tabla 3.21 recoge los datos obtenidos para pH, pérdidas por cocción, jugo exprimible y dureza instrumental.

Color

La carne de pechuga de pollo tiene un color rosado, que es una característica deseable para el consumidor. El color de la carne está generalmente influenciado por factores relacionados con los animales, principalmente el genotipo (Fletcher, 1999) y la edad de sacrificio los mismos (Fanatico *et al.*, 2005b).

Los resultados obtenidos para las muestras de este estudio fueron superiores a los valores L^* a^* b^* (Tabla 3.20) presentados por Castellini *et al.* (2002) (L^* 51,68; a^* 5,75; b^* 4,94), Fanatico *et al.* (2005) (L^* 48,0; a^* 4,43; b^* 1,63) y Dal Bosco *et al.* (2011) (L^* 55,4; a^* 5,42; b^* 4,26) cuando estudiaron otras estirpes de crecimiento medio.

A pesar de que los valores L^* en nuestro estudio fueron más elevados que los presentados por otros autores, teniendo en cuenta el pH registrado, no pueden ser consideradas carnes PSE (pale, soft and exudative) (Fanatico *et al.*, 2005). Se ha descrito que los pollos de crecimiento lento son más rojos (a^*) y oscuros que los pollos de rápido crecimiento (Fanatico *et al.*, 2005), es probable que el uso de híbridos sea el responsable de los valores más altos hallados en nuestro estudio cuando se ha comparado con otros autores que estudiaron razas puras (Dal Bosco *et al.*, 2011). Aunque la literatura sobre el parámetro a^* es controvertida y muchos autores recogen resultados opuestos en diferentes estirpes que tienen diferentes tasas de crecimiento (Berri *et al.*, 2001; Baeza *et al.*, 2002; Gordon *et al.*, 2002; Nielsen *et al.*, 2003; Fanatico *et al.*, 2007). Así mismo, se ha descrito, que a medida que se incrementa la edad, la carne es de color más rojo (a^*) debido a mayor contenido en mioglobina (Fanatico *et al.*, 2005). Es por ello que, de acuerdo con la normativa vigente para la producción de pollos ecológicos en España, el tiempo de crianza para nuestros animales fue superior al consultado para otras estirpes de crecimiento lento, pudiendo atribuirse a este hecho las diferencias halladas con los estudios previos. Las diferencias halladas en el valor b^* de la literatura consultada puede estar justificada más que con el genotipo con la alimentación recibida. En un estudio realizado por Puchała *et al.* (2015), describieron que el sistema de producción al aire libre permitía a los pollos comer vegetación la cual contenía xantofilas que se depositaron en la grasa subcutánea; incrementando la intensidad del color de las canales haciéndolos más amarillos. Esto coincide con lo publicado por Fanatico *et al.* (2005) que encontraron que la intensidad del color de la piel aumentaba en las aves de crecimiento lento que tenían acceso al área libre. Estos autores afirmaron que la ingesta de una mayor cantidad de forraje rico en carotenoides por los pollos de crecimiento lento proporciona una mayor intensidad de color amarillo en la carne, lo que resulta en un valor b^* más alto cuando se les compara con las estirpes de crecimiento rápido criadas en condiciones industriales.

En nuestro estudio no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) para cada uno de los parámetros (L^* , a^* , b^*) entre las dos estirpes (CY y RB) estudiadas. Fanatico *et al.* (2005) describieron valores significativamente diferentes para el parámetro L^* entre dos estirpes de crecimiento medio que habían sido criados sin acceso al aire libre; aunque estos autores lo relacionaron con que los filetes procedentes de una de las estirpes fueron más delgados. El

resto de parámetros (a^* , b^*) estudiados por dichos autores no mostraron variaciones entre las dos estirpes de crecimiento medio estudiadas. Por otra parte, Díaz *et al.* (2010) describieron un valor de L^* mayor en la estirpe Mos (raza de crecimiento lento pura) frente a otra estirpe de crecimiento lento (T-44), mientras que el resto de parámetros del color (a^* , b^*) no se vieron afectados. A pesar de que las estirpes propuestas por estos autores tenían el mismo tipo de crecimiento y habían sido criadas bajo las mismas condiciones; se debe considerar que mientras Mos es una raza indígena no seleccionada, la estirpe T-44 procede de cruces comerciales, siendo esta la causa de las diferencias halladas por parte de los autores. Este hecho justificaría, la ausencia de diferencias halladas en nuestros resultados ya que en ambos casos proceden de un cruce comercial cuya línea materna es la misma.

Tabla 3.20. Composición de la pechuga (*Pectoralis major*) con respecto a L^* , a^* , b^*

	P1		P2		p		
	CY	RB	CY	RB	E	P	ExP
L^*	60,86 ± 4,39	60,16 ± 3,89	58,07 ± 9,14	57,45 ± 7,15	ns	ns	ns
a^*	4,95 ± 1,19	5,10 ± 1,79	6,62 ± 2,76	6,43 ± 2,50	ns	*	ns
b^*	11,14 ± 3,21	11,51 ± 3,53	12,03 ± 4,69	11,57 ± 4,68	ns	ns	ns

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * $p < 0,05$

E: Estirpe; P: Periodo. P1: periodo 1; P2: periodo 2; CY: ColorYield; RB: RedBro

Cuando se compararon razas con diferente crecimiento, los resultados hallados en la bibliografía fueron variados. Castellini *et al.* (2002) mostraron que la carne de pechuga de pollos de razas de crecimiento rápido tuvo valores más altos de L^* y menores para a^* frente a las de crecimiento medio y lento lo que relacionaron con un menor pH final. Por otra parte, Dal Bosco *et al.* (2011) no hallaron variaciones en el parámetro L^* , pero el a^* y b^* fue significativamente mayor en las razas de crecimiento lento frente a las de crecimiento medio. Este incremento del valor b^* coincide con lo descrito por Fanatico *et al.* (2005) y Santos *et al.* (2005) cuando compararon estirpes de crecimiento lento frente a crecimiento rápido.

En cuanto al periodo de crianza, no se observaron diferencias significativas para la luminosidad (L^*). En consonancia, Wilkins *et al.* (2000), Sandercock *et al.* (2001) y Woelfel *et al.* (2002) no encontraron diferencias para el valor L^* en función de las condiciones de temperatura de crianza. Frente a esto, otros autores (McCurdy *et al.*, 1996; Petracci *et al.*, 2004; Bianchi *et al.*, 2007; Lu *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2012) hallaron carnes significativamente más pálidas en los animales que habían sido sometidos a temperaturas más altas. Estos autores plantean que, como consecuencia del incremento de la temperatura, pueden acelerarse los cambios en el metabolismo posmortem del músculo produciendo carnes pálidas, blandas y exudativas (PSE).

En el parámetro rojo (a^*), se observó un incremento ($p < 0,05$) significativo en los animales pertenecientes al periodo de crianza más cálido (P2) frente a al frío (P1) (6,53 vs. 5,03). En contraste, otros autores (Petracci *et al.*, 2004; Bianchi *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2012) describieron carnes menos rojas en aquellos animales criados con temperaturas más elevadas. Estos estudios consideran que la carne procedente de aves expuestas al calor, presentan una mayor

concentración de mioglobina oxidada y que, a su vez, se relaciona de forma inversamente proporcional con el aumento del valor L*. Sin embargo, al igual que ocurría para los ácidos grasos, no debemos olvidar que durante las épocas más cálidas (P2) existe un mayor desarrollo de la vegetación y por tanto, la ingesta por los animales durante estos periodos es mayor. Esto coincide con lo descrito por Leiber *et al.* (2017) que mostraron colores más rojizos de la pechuga cuando los animales habían consumido alfalfa. Esto puede deberse a la presencia de betacarotenos u otros pigmentos que contiene la alfalfa y que pueden modificar el color final de la carne (Smith *et al.*, 2002).

A pesar de no existir diferencias significativas para el valor amarillo (b*), se observó un incremento numérico en los animales pertenecientes a la época cálida frente a la fría (11,80 vs. 11,33). Similares resultados, fueron los publicados por autores previos (Akşit *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2012), que a pesar de no encontrar diferencias significativas mostraron mayores valores para b* en aquellos animales que habían sido criados con temperaturas más altas, mientras que Bianchi *et al.* (2007) encontraron que el incremento fue significativo en aquellos animales que habían sido criados en temperaturas más altas. No obstante, diversos autores (Fanatico *et al.*, 2005; Michalczuk *et al.*, 2014; Puchala *et al.*, 2015), describieron también cambios sobre la coloración de la pechuga como consecuencia del acceso a los pastos de los pollos criados en regímenes de semilibertad. El consumo de vegetación rica en xantofilas, provocaba un depósito de los pigmentos sobre la grasa subcutánea aumentando la intensidad del color de las canales, haciéndolas más amarillas (b*), lo que estaría de acuerdo con lo observado en nuestros resultados.

La variación de color supone un problema importante para la compra en el mercado al por menor porque los consumidores son más sensibles a la variación de color que al color absoluto, y tienden a rechazar los productos con diferencias de color notables (Fletcher, 1999). Fletcher (2002) enfatizó que la variación del color de la carne de ave cruda es suficiente para causar una variación en la apariencia de los productos cocidos, y por tanto del producto final. Nuestros resultados plantean que, independientemente de la estirpe y la época de crianza de los animales no existirían fuertes variaciones sobre el color de la carne esperado, siendo este hecho beneficioso para la compra de los productos de independientemente de la estirpe de elección y de la época del año.

pH

Los resultados de pH (Tabla 3.21) muestran que los valores obtenidos para los diferentes grupos fueron similares a los publicados por Castellini *et al.* (2002) (5,84) y Dal Bosco *et al.* (2011) (5,8) e inferior al descrito por Cömert *et al.* (2016) (6,73) para otras estirpes de crecimiento medio. Cömert *et al.* (2016) no hallaron variaciones entre estirpes de crecimiento medio y rápido; mientras que Fanatico *et al.* (2007) y Dal Bosco *et al.* (2011) describieron un incremento significativo del pH en las estirpes de crecimiento medio, frente a las de crecimiento lento. Fanatico *et al.* (2007) han relacionado este hecho con el mayor peso corporal que tienen las aves de crecimiento lento, que se asocia con un aumento del metabolismo de la energía glucolítica y con una mayor acidificación final de la carne. Esto coincide con lo descrito por autores previos (Berri *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2005) que mostraron un incremento del pH cuando se

compararon estirpes de crecimiento lento frente a las estirpes de crecimiento rápido. La selección para crecimiento rápido y alto rendimiento redujo la tasa de disminución del pH (Berri *et al.*, 2005, 2007; Castellini *et al.*, 2008), posiblemente debido a una disminución en el potencial glucolítico (Baeza *et al.*, 2002).

Tabla 3.21. Composición de la pechuga (*Pectoralis major*) para otros parámetros de calidad tecnológica

	P1		P2		p		
	CY	RB	CY	RB	E	P	Exp
pH	5,55 ± 0,14	5,68 ± 0,17	5,82 ± 0,28	5,79 ± 0,25	ns	*	ns
Jugo (%)	16,86 ± 2,93	12,03 ± 4,08	13,74 ± 5,16	14,5 ± 4,50	ns	ns	*
P. Cocción (%)	8,13 ± 3,02	7,82 ± 3,68	8,37 ± 2,05	9,47 ± 5,68	ns	ns	ns
WBSF(N)	26,27 ± 8,24	26,61 ± 16,34	32,8 ± 10,18	28,39 ± 13,69	ns	ns	ns

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05

EST: Estirpe; P: Periodo. P1: periodo 1; P2: periodo 2; CY: ColorYield; RB: RedBro

El pH obtenido en nuestro estudio no mostró diferencias significativas entre ambas estirpes (CY y RB). De igual forma, ni Fanatico *et al.* (2005), ni Díaz *et al.* (2010) hallaron variaciones para el pH de la pechuga cuando compararon estirpes entre sí con el mismo tipo de crecimiento y manejo. Como se ha citado anteriormente, el pH queda condicionado por el tipo de crecimiento del pollo, que influye sobre la tasa de reducción del pH. Por lo que en base a lo citado anteriormente queda justificada la ausencia de variaciones cuando las estirpes tienen el mismo crecimiento.

Para el efecto del periodo de crianza (Figura 3.18), se observó un incremento significativo (p <0,05) en los animales pertenecientes a la época cálida (P2) (5,80 vs. 5,62). En contraste, otros autores (Holm *et al.*, 1997; Sandercock *et al.*, 2001; Akşit *et al.*, 2006; Bianchi *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2012) han mostrado que el incremento de temperatura puede suponer un descenso del pH. Se ha descrito que temperaturas extremas que provocan un estrés sobre los animales, suponen un incremento del metabolismo glicolítico, que ocasiona un aumento de la actividad oxidativa y de la producción de radicales libres en el músculo, alterando el estado ácido-base y modificando el pH de la carne (Akşit *et al.*, 2006). No debemos olvidar que estos estudios tuvieron una temperatura controlada durante toda su duración que fue superior a la que se planteó en nuestro estudio. Sin embargo, en otros estudios (Petracci *et al.*, 2001; Lu *et al.*, 2007) que el efecto de la temperatura sobre los niveles de pH no siempre fue consistente y por tanto no puede considerarse como un factor determinante.

En base a lo observado anteriormente para la composición en ácidos grasos totales y el color, estas variaciones pueden relacionarse con la mayor disponibilidad de pastos durante las épocas cálidas. Esto se encuentra de acuerdo con lo descrito por Ponte *et al.* (2008) que describió un incremento del pH en primavera asociado al mayor consumo de tréboles.

Finalmente, nuestros resultados mostraron que la interacción entre la época del año y la estirpe utilizada en el estudio no fue significativa.

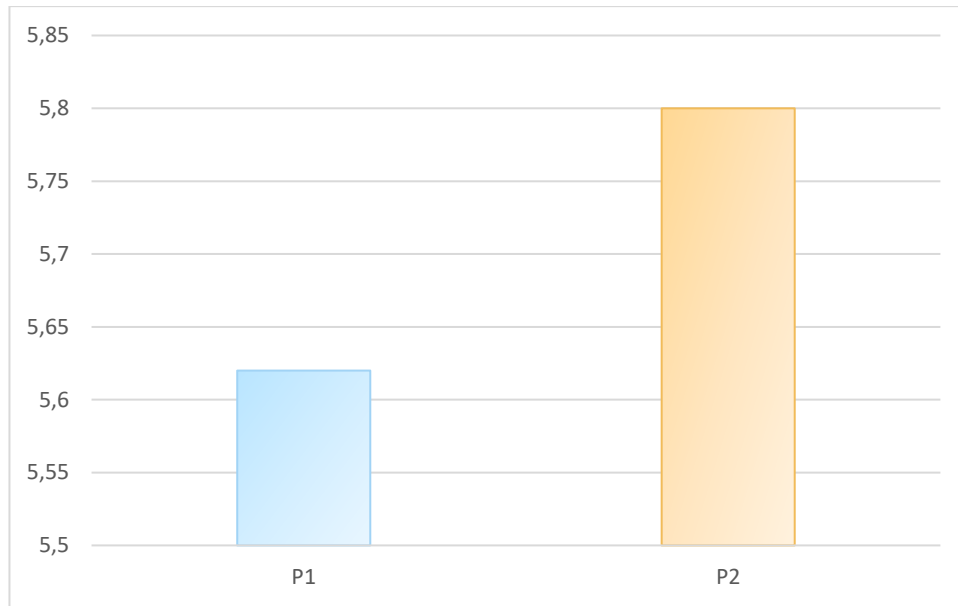


Figura 3.18. pH de la pechuga (*Pectoralis major*) en función del periodo de crianza (P1 y P2)

Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua es un atributo importante de la calidad de la carne y se puede medir por goteo o pérdida por cocción (Fanatico et al., 2005).

a. Jugo exprimible

Los resultados obtenidos observados para el jugo exprimible (Tabla 3.21) fueron inferiores a los mostrados por Castellini *et al.* (2002) (43,34 %) y Dal Bosco *et al.* (2011) (53,2 %) pero superiores a los mostrados por Fanatico *et al.* (2005) (1,14 %). Aunque las grandes diferencias halladas entre los distintos autores se deben a la metodología utilizada; mientras que Castellini *et al.* (2002) determinaron la CRA mediante centrifugado de las muestras, Fanatico *et al.* (2005) determinaron las pérdidas de agua de la canal pesando las muestras y volviendo a pesar tras 24 horas post-mortem (*drip losses*).

En cuanto al jugo exprimible no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en función de la estirpe utilizada. En consonancia, Dal Bosco *et al.* (2011) no hallaron diferencias entre estirpes de crecimiento medio y lento. Fanatico *et al.* (2005) hallaron un incremento significativo del valor de las pérdidas de agua en las estirpes de crecimiento lento frente a las de crecimiento rápido, mientras que no encontraron diferencias significativas cuando compararon estirpes de crecimiento lento entre sí con idénticas condiciones de crianza. Estos autores relacionaron que las diferencias halladas entre estirpes con distinto tipo de crecimiento, podría deberse a que las pechugas de las estirpes de crecimiento lento fueron más grandes y gruesas y, por lo tanto, no pierdan tanta agua como las pechugas más delgadas. Estos hallazgos confirman que las variaciones quedan determinadas más que por la estirpe utilizada (ej. RedBro, ColorYield) por el tipo de crecimiento.

Así mismo, no se encontraron diferencias significativas cuando se consideró la época del año, aunque los valores fueron más altos para el periodo más cálido (P2) (14,12 vs. 14,44 %). Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por Bianchi *et al.* (2007) quienes encontraron mayores pérdidas de agua en los animales que habían sido criados durante el verano. El estrés por calor causa una alta tasa metabólica, lo que resultó en una desnaturalización de la proteína pronunciada. La grave desnaturalización de la proteína afecta la capacidad de la proteína para unirse al agua y da como resultado una baja capacidad de retención de agua, que se reflejó en una mayor pérdida por goteo y pérdida de cocción.

Aunque finalmente, la interacción entre ambos factores (estirpe x periodo) tuvo un efecto significativo ($p > 0,05$) debido a las fuertes diferencias entre las estirpes en el periodo más frío (P1).

b. Pérdidas por cocción

Nuestros resultados para las pérdidas por cocción en la carne de pechuga (Tabla 3.21) fueron inferiores a los publicados por Castellini *et al.* (2002) (37,07 %) Fanatico *et al.* (2005) (24,4-27,6 %) y Dal Bosco *et al.* (2011) (34 %). Probablemente, valores más bajos se relacionan con la metodología empleada para realizar esta técnica por parte de los autores, que mantuvieron las muestras durante 15 minutos a una temperatura de 80 °C.

No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) cuando se analizaron las pérdidas por cocción entre ambas estirpes de crecimiento lento (CY y RB) de nuestro estudio, de forma similar, Fanatico *et al.* (2005) no hallaron variaciones para las pérdidas por cocción cuando compararon dos estirpes de crecimiento medio entre sí. Por otra parte, Dal Bosco *et al.* (2011) no hallaron diferencias para este parámetro cuando compararon estirpes de crecimiento medio y lento. Sin embargo, Castellini *et al.* (2002) si encontraron diferencias significativas lo que atribuyeron a la escasa capacidad de retención de agua en aves de crecimiento lento debido a un desarrollo menor que las aves de crecimiento rápido cuando se las lleva al sacrificio a un tiempo establecido (81 días); de hecho, las aves de crecimiento lento tenían un mayor porcentaje de humedad en la carne. En base a los resultados, parece existir una tendencia en la que las diferencias para las pérdidas por cocción se hacen más notables a medida que las diferencias en el tipo de crecimiento de los pollos lo son (crecimiento lento vs rápido). Este hecho confirma la ausencia de diferencias entre dos estirpes con el mismo tipo de crecimiento como las de nuestro estudio.

Así mismo, no se observaron diferencias significativas para la época del año, aunque los valores fueron ligeramente más altos durante las épocas más cálidas (P2) (8,92 vs. 7,98 %) lo que coincide con lo descrito para el jugo exprimible en nuestro estudio. Este resultado está de acuerdo con lo publicado por autores previos (Sandercock *et al.*, 2001; Lu *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2012). Finalmente, la interacción entre ambos factores estudiados (estirpe y periodo) no tuvo un efecto significativo sobre este parámetro ($p > 0,05$).

Fuerza de corte (WBSF)

La dureza de la carne es el factor más importante relacionado con la palatabilidad o calidad de los productos cárnicos en el juicio del consumidor (An *et al.*, 2010), lo que determina la satisfacción final de los consumidores con la carne de ave y los productos cárnicos (Fletcher, 2002).

Los valores registrados (Tabla 3.21) fueron superiores a los obtenidos por Fanatico *et al.* (2005) (9,79 N) y similares a los obtenidos por Castellini *et al.* (2002) (29,03 N) para otras razas de crecimiento medio e inferiores a los obtenidos por Dal Bosco *et al.* (2011) (40,7 N). Según Fletcher (2002), las diferencias en la dureza de la carne pueden deberse, no solo al genotipo, que aun siendo el mismo tipo de crecimiento podrían variar en la composición de las fibras, sino también a la diferencia de edad en el momento del sacrificio. A medida que las aves son más viejas existe una mayor reticulación del colágeno, causando una mayor dureza en la pechuga de estos animales (Castellini *et al.*, 2002; Fanatico *et al.*, 2005; Napolitano *et al.*, 2013). Esto implica, que independientemente del genotipo utilizado, si se incrementan los días de sacrificio aumenta la resistencia al corte de la carne. Así mismo, Castellini *et al.* (2002) han descrito que la mayor actividad física de determinadas estirpes podría condicionar un incremento en la resistencia al corte de la pechuga. Este conjunto de razones podría justificar las diferencias halladas entre los distintos estudios consultados frente al nuestro.

La fuerza ejercida (N) no mostró diferencias significativas entre las dos estirpes de crecimiento medio (CY y RB) utilizadas en el estudio. Estos hallazgos se encuentran de acuerdo con lo observado por Fanatico *et al.* (2005) y Díaz *et al.* (2010) quienes no hallaron diferencias para la dureza cuando compararon dos estirpes con el mismo tipo de crecimiento entre sí bajo las mismas condiciones de crianza. Frente a estos hallazgos, la literatura consultada refleja variaciones en la dureza cuando se comparan razas con distinto tipo de crecimiento. An *et al.* (2010) encontraron que las diferencias genéticas en el espesor del perimio y el endomisio entre pollos de crecimiento rápido y lento pueden inducir también diferencias en la dureza de la carne. Esto se encuentra de acuerdo con lo descrito por Abdullah *et al.* (2010) que sugieren que la selección genética para el crecimiento rápido de las razas industriales ha resultado en una dureza menor en comparación con las de crecimiento medio. Sin embargo, trabajos previos han considerado que, incluso cuando se han hallado diferencias en la textura de la carne procedente de dos genotipos con distintos tipo de crecimiento; estas diferencias son muy sutiles para su detección; ya que una prueba de preferencia del consumidor no podría discriminar las diferencias entre ambos genotipos, únicamente siendo diferenciada por panelistas entrenados (Napolitano *et al.*, 2013; Fanatico *et al.*, 2006). Estos hechos, confirmarían los resultados hallados en nuestro estudio, donde la estirpe, es un factor más, que, junto con la edad del animal, y la región de la musculatura usada en el análisis condiciona la dureza final de la pechuga. Por lo que se observa que, cuando el tipo de crecimiento de la estirpe es el mismo, la capacidad para influir sobre la dureza es mucho más limitado que cuando se comparan estirpes con distinto tipo de crecimiento entre sí.

No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) para el efecto de la época del año, coincidiendo con Akşit *et al.* (2006) y Lu *et al.* (2007) quienes describieron la ausencia del efecto de la época de crecimiento sobre la textura. Estos autores evaluaron la dureza de la carne basándose en el contenido en glucógeno muscular en el que no encontraron diferencias, y considerando la estabilidad del mismo concluyeron que el estrés por calor no tuvo efecto sobre la dureza de la carne, si bien, los valores fueron ligeramente más elevados durante épocas cálidas (30,60 vs. 26,44 N). Los valores hallados en este estudio estarían en la misma línea que los descritos por Sandercock *et al.* (2001) y Zhang *et al.* (2012) quienes mostraron un incremento de la resistencia al corte en aquellos animales que habían sido criados en condiciones de temperatura más elevadas frente a los controles, lo que se relaciona con las mayores pérdidas por cocción observadas para estas muestras. En contraste, Feng *et al.* (2008) describieron una dureza menor de la carne cuando se incrementaban la temperatura de crianza de los pollos. De acuerdo a estos resultados, Bianchi *et al.* (2007) encontraron valores significativamente menores en los animales criados en verano frente a los criados durante el invierno, y lo relacionaron con el mayor contenido en humedad y menor en cenizas y proteínas durante la estación cálida. Sin embargo, la falta de consistencia de este parámetro entre los distintos estudios consultados hace plantearse la necesidad de nuevas investigaciones que permitan ahondar en el mismo.

c. NIRS

Sobre las submuestras A₃ de la pechuga que previamente se habían seleccionado, se realizó un registro NIRS y se llevó a cabo un análisis discriminante sobre los espectros obtenidos por triplicado para cada una de las muestras. El análisis discriminante permite utilizar el NIRS para la identificación y el control de la calidad de distintas muestras (Berzaghi, *et al.*, 2005). Se obtuvieron datos espectrales NIR de pechugas de pollo de producción ecológica agrupándolas por estirpes (CY y RB) y por periodo de crianza (P1 y P2). Los modelos DPLS se construyeron con 48 muestras y 4 componentes principales.

El modelo DPLS no clasificó correctamente las muestras en función de la estirpe a la que pertenecían en nuestro estudio. La Figura 3.19 muestra que las líneas correspondientes a las distintas estirpes (CY y RB) quedan superpuestas a lo largo de toda la gráfica, lo que confirma la gran similitud hallada entre las muestras y la dificultad para el sistema para clasificar de forma correcta estas muestras. A pesar de los diferentes pretratamientos espectrales y matemáticos aplicados encaminados a minimizar la dispersión.

Frente a esto, Del Moral *et al.* (2008) y Prieto *et al.* (2015) encontraron que el modelo DPLS fue capaz de identificar de forma correcta la carne procedente de dos tipos de razas en la especie porcina. Resultados similares fueron los obtenidos por Fumiére *et al.* (2000) cuyo estudio mostró la capacidad del sistema NIRS para clasificar de forma correcta el 80 % de las muestras cuando se comparaban pollos de razas de crecimiento lento y razas de crecimiento rápido. Estos resultados son coherentes con los obtenidos para el resto de parámetros en nuestro estudio. No debemos olvidar que en nuestro estudio se utilizaron híbridos, es por ello que, al tratarse de animales dentro del mismo tipo de crecimiento y que presentan una gran similitud entre ellos, hace

muy difícil que la tecnología NIRS consiga la clasificación correcta de las muestras.

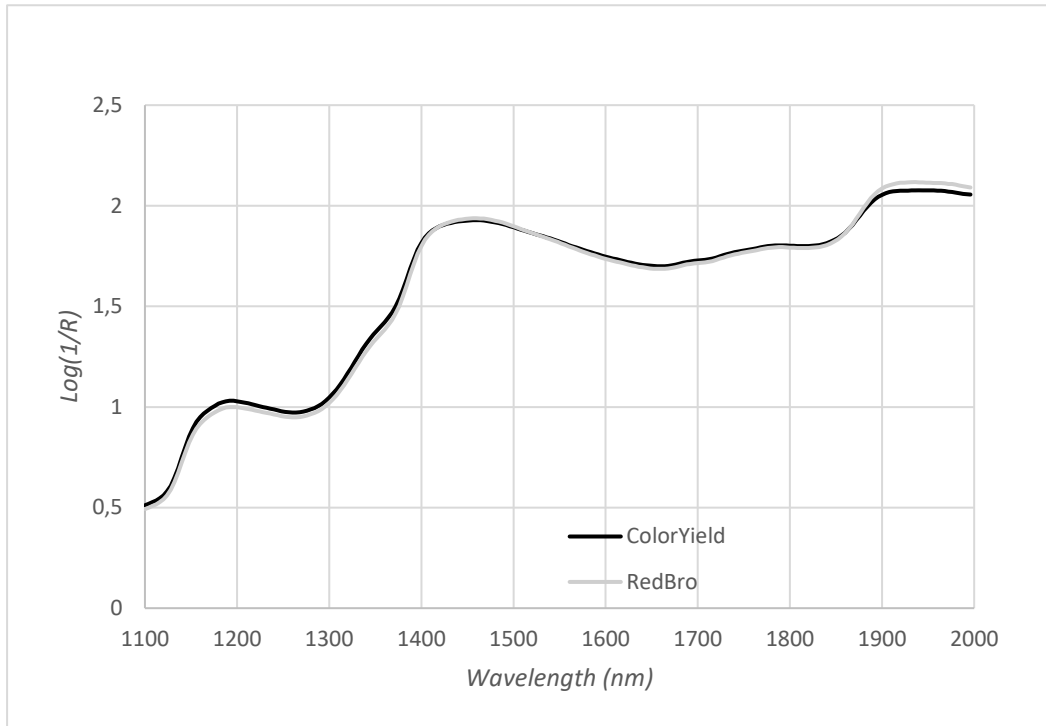


Figura 3.19. Modelo DPLS para las muestras en función de la estirpe (CY y RB)

Igual que en el caso anterior, no fue posible identificar las muestras en función del periodo de crianza al que pertenecían (P1 y P2). Nuevamente, existe una superposición entre ambas líneas correspondientes a los periodos tal y como se observa en la Figura 3.20. La literatura consultada no ha mostrado información sobre experimentos previos que hallan intentando poder identificar mediante sistema NIRS muestras cárnicas procedentes de animales criados en distintas condiciones ambientales

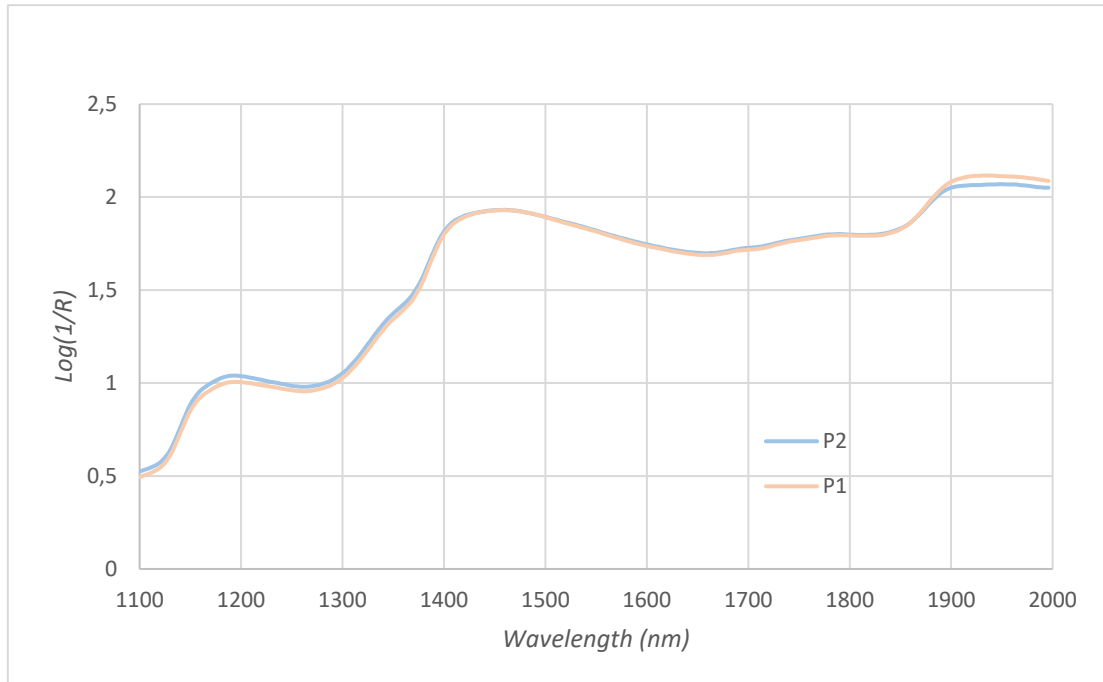


Figura 3.20. Modelo DPLS para las muestras en función del periodo (P1 y P2)

CONCLUSIONES

Nuestros resultados mostraron ausencia de diferencias significativas para el peso final al sacrificio (p120) GMDt, e IC1-120 entre las dos estirpes de crecimiento medio-lento estudiados (RedBro y ColorYield), mientras que se observó un incremento significativo del consumo en el periodo total (C1-120) para los animales procedentes de la estirpe RedBro.

Mientras que la estirpe no influyó en gran medida sobre el desarrollo de los animales, el periodo de crianza tuvo un papel más importante. Se observó que los pollos criados en condiciones climatológicas más cálidas (P2) alcanzaron pesos al sacrificio (p120) menores (-19,20 %); un consumo menor (C1-120 - 16,50 %), y también un menor IC (-0,4 %) con respecto a los criados en el periodo más frío (P1). El análisis económico mostró que en términos de rentabilidad económica sería más positivo criar más cantidad de animales durante el periodo frío frente al cálido. No obstante, estas diferencias productivas observadas entre los factores estudiados (genotipo x periodo) desaparecieron cuando se evaluaron la interacción entre ambos.

El peso del primer día del pollito (p1) tuvo un efecto significativo durante el primer mes de vida (p30), siendo menor para los pollitos que inicialmente pesaron menos. Sin embargo, a partir de dicha pesada, el crecimiento compensatorio de estos animales cuando las condiciones de crianza son adecuadas, permite a los animales sobreponerse, alcanzando al sacrificio rendimientos productivos similares a los que tuvieron un peso inicialmente mayor.

Los resultados obtenidos para las distintas variables estudiadas nos permitieron establecer modelos matemáticos predictivos que sirvieran al ganadero para predecir el peso de los animales al sacrificio (p120) para cada

periodo de crianza (P1 y P2) en función de un peso determinado (p15 y p45 respectivamente). Si bien es cierto, para asegurar un modelo con mayor fiabilidad se recurrió a modelos RTA que permitieron relacionar el periodo de crianza para determinar el peso al sacrificio (p120), el consumo y el IC total.

En cuanto a la calidad, se observó que en los animales pertenecientes a la estirpe RedBro se incrementó significativamente ($p < 0,05$) el contenido en humedad y disminuyó el contenido en cenizas de la pechuga. El resto de parámetros de calidad estudiados, no se vieron afectados ($p > 0,05$) por el efecto de la estirpe. En líneas generales tampoco se observaron diferencias para la composición de ácidos grasos de la pechuga, ni en la composición individual ni en las fracciones totales de lípidos estudiados. Si bien es cierto, los animales pertenecientes a la estirpe ColorYield mostraron un incremento significativo ($p < 0,05$) en el ácido docosadienoico. La alta similitud observada en la calidad de la carne queda justificada porque en ambos casos la línea materna progenitora era común difiriendo únicamente ambas estirpes en la línea paterna

El periodo de crianza más cálido (P2) disminuyó de forma significativa ($p < 0,05$) el contenido en humedad, e incrementó el valor de pH y enrojecimiento (a^*). La composición individual de ácidos grasos de la carne no se vio afectada por el periodo de crianza, sin embargo, si se produjeron modificaciones sobre la composición total de ácidos grasos; los pollitos que habían sido criados en el periodo más cálido (P2), disminuyó de forma significativa ($p < 0,01$) el contenido en SFA, e incrementó ($p < 0,05$) el contenido en PUFA y n-6 en la pechuga. En base a la bibliografía consultada, parece probable, que estas diferencias se encuentren relacionadas más que con un efecto directo de las condiciones ambientales sobre la calidad de la carne, con el incremento en la disponibilidad de la vegetación durante las épocas más cálidas y por tanto un incremento en el consumo de éstas.

Finalmente se puede concluir que la interacción entre el efecto del uso de diferentes estirpes de crecimiento medio y el periodo de crianza descrito en este estudio no modifica de forma sustancial la calidad de la carne de los pollos. Esta gran similitud hallada entre la carne procedente de los distintos periodos de crianza y estirpes justifica la dificultad del sistema NIRS para clasificar las muestras de pechuga de forma correcta en base a los factores descritos (estirpe y periodo de crianza).

CAPÍTULO 4

Efecto del uso harina de insectos en la alimentación de pollos de crecimiento medio-lento

SECCIÓN 1: Efecto de la inclusión de harina de larva de *Calliphora sp.* en la dieta de pollos de crecimiento lento durante el primer mes de vida en sistemas de producción ecológica

RESUMEN

El estudio evaluó los efectos de la inclusión de harina de larva *Calliphora sp.* (CLM) en dietas de pollos de crecimiento medio-lento durante el primer mes de vida. Un total de 120 pollitos macho de crecimiento medio (RedBro) de un día de edad fueron asignados al azar a cuatro tratamientos dietéticos, con dos repeticiones: un grupo control y tres grupos de tratamiento (n=15). El grupo control (T1) solo tuvo un pienso compuesto como fuente de alimentación; para los tratamientos experimentales, se complementó con 5 % (T2), 10 % (T3), o 15 % (T4) de harina de larva *Calliphora sp.* (CLM) reduciendo en cada caso el porcentaje correspondiente de cantidad de pienso. El grupo que obtuvo mayor peso (0,874 kg) al cabo de 30 días (P5) fue el grupo T4 (15 % CLM) con diferencias significativas ($p < 0,01$) con el resto de animales de otros grupos. El ritmo de crecimiento durante los primeros 30 días de vida, medido mediante GMD, fue mayor en aquellos grupos que habían ingerido mayor cantidad de CLM (T3 y T4) (0,029 kg/d). Se observó un consumo significativamente mayor ($p < 0,001$) en los animales que habían recibido menor proporción de CLM (T2 y T1), y un IC significativamente menor ($p < 0,001$) para los grupos con mayor proporción de CLM (T3 y T4). Se concluyó que la inclusión de CLM en la alimentación de pollos machos puede mejorar el peso corporal y el aumento de peso promedio diario y el IC durante el primer período de vida (1-30 d); aunque no de una manera proporcional a su inclusión. Se requieren estudios posteriores para afianzar estos resultados preliminares.

Palabras clave: *harina de insectos, pollo ecológico, crecimiento.*

INTRODUCCIÓN

La falta de disponibilidad de materias primas proteicas (no OGM) para la alimentación de animales ecológicos, sobre todo en porcino y avicultura, es una de las principales limitaciones que encuentra este sector. El desarrollo productivo, estado sanitario y bienestar de los animales, depende de forma directa del adecuado suministro de proteínas en la dieta (Van Krimpen *et al.*, 2013). Por lo tanto, la búsqueda de alternativas proteicas que sean suficiente tanto en calidad como en cantidad es una prioridad para estos productores.

Los insectos contribuyen a la dieta natural de peces y animales monogástricos “*free-range*” en todo el mundo, ofreciendo el potencial de ser utilizados en la alimentación animal eficazmente como alternativas a otras proteínas de origen animal o a la soja (Charlton *et al.*, 2015). Estas especies exhiben un gran potencial para convertirse en un ingrediente estándar en la alimentación animal, debido a su alta calidad y cantidad de proteína (Ramos-Elorduy *et al.*, 2002). Además, la baja competitividad con alimento humano (Ballitoc *et al.*, 2013) y la reducción en el impacto ambiental en términos de coste de energía y utilización del área cultivable (Makkar *et al.*, 2014) hacen que los insectos sean prometedores en un entorno de producción ecológica.

Sin embargo, el uso de insectos en la alimentación para aves no está permitido actualmente en la Comunidad Europea. Dadas las potenciales ventajas ecológicas asociado a una buena aceptación entre productores y consumidores (Verbeke *et al.*, 2015), parece probable que los marcos legales políticos puedan cambiar en un futuro cercano, haciendo posible la utilización de proteínas de insectos en la alimentación de aves; siendo un potencial valioso también para los sistemas ecológicos (Leiber *et al.*, 2017).

El período inicial (30 días) se considera el más importante en la producción de pollos de engorde, ya que el crecimiento y el desarrollo se producen a un ritmo muy fuerte en esta fase. De hecho, el peso de los pollitos se cuadruplica, lo que influye en la tasa de crecimiento posterior (Gajana *et al.*, 2011; Dabbou *et al.*, 2018). Es por ello que el aporte de nutrientes de alta calidad biológica y nutricional como pueden ser los insectos, son claves para el correcto desarrollo productivo de los pollitos.

Por lo tanto, la inclusión de insectos como fuente proteica para la alimentación de monogástricos y concretamente de pollos, se presenta como una oportunidad para el sector, requiriéndose futuras investigaciones que permitan avalar las ventajas de la inclusión de este producto; así como la inocuidad y seguridad del mismo.

Por el momento, un obstáculo significativo para el uso de insectos en la alimentación animal es la cantidad limitada de insectos producidos, lo que no garantiza un suministro constante. Los precios de los insectos y las comidas con insectos son actualmente muy altos, y no pueden competir con otras fuentes de proteínas a este respecto. Para superar este problema, deben identificarse las especies de insectos más adecuadas que tengan proteínas efectivas en términos de costos de producción a escala industrial. Para la producción en masa, es necesario desarrollar tecnologías de proceso automatizadas para los procedimientos de cría, cosecha y pos-cosecha, que ciertamente incluyen el control de la seguridad y calidad del producto (Józefiak *et al.*, 2016).

Las cuestiones legislativas también deberán abordarse a nivel europeo, a fin de permitir que la harina de insectos se utilice como proteína animal transformada para alimentar a los animales de granja monogástricos. Por ello se requiere que las autoridades competentes conozcan la importante alternativa que supone el uso de los insectos como fuente de proteína y las ventajas que podría tener su uso.

La aceptación general de la inclusión de insectos en la alimentación animal se ha discutido frecuentemente como una barrera. Sin embargo, en un estudio reciente de Bélgica, se recogieron datos transversales entre agricultores, partes interesadas del sector agrícola y ciudadanos (Verbeke *et al.*, 2015). Los resultados de este estudio indican una amplia aceptación. Los beneficios percibidos, como una mayor sostenibilidad de la producción ganadera, menor dependencia de las fuentes de proteínas importadas y menor impacto ambiental, superan los riesgos percibidos, como la contaminación microbiológica, los residuos químicos en la cadena alimentaria y la menor aceptación de los productos de origen animal por parte de los consumidores.

Actualmente, existen importantes lagunas de conocimiento en el campo de la producción de insectos, particularmente en Europa, donde los insectos no se consideran un alimento tradicional (Vantomme *et al.*, 2012, Veldkamp *et al.*, 2012, Van Huis *et al.*, 2013). Sin embargo, parece que no hay nada que nos impida utilizar los insectos como nutriente en la dieta de nuestros animales, por lo que se debe trabajar para reducir los costos de producción de insectos y eliminar otras limitaciones en su uso en la nutrición avícola.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la inclusión de harina de larvas de *Calliphora sp.* sobre rendimiento productivo de pollos de crecimiento medio-lento criados en sistemas de producción ecológica durante el primer mes de vida.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Animales

Un total de 120 pollitos machos (*Gallus gallus domesticus*) de un día de edad del híbrido de crecimiento medio-lento RedBro fueron utilizados en el experimento. Los pollitos, que llegaron sexados de la granja de origen, fueron pesados individualmente (P1) y se asignaron aleatoriamente a cuatro tratamientos (n=15 cada grupo). Se realizaron dos repeticiones por cada grupo. El periodo de estudio comprendió el primer mes de vida de los animales (1-30 días).

Condiciones de alojamiento

En cada repetición los pollitos de cada grupo fueron identificados y alojados en cuatro gallineros independientes dentro de la misma instalación, compartiendo idénticas condiciones climáticas. Cada gallinero contaba con un sistema de suministro de agua y alimento para permitir una ingesta *ad libitum*.

La temperatura se mantuvo a 35 °C durante las primeras dos semanas y se fue reduciendo de forma progresiva, hasta alcanzar 25 °C al final del experimento. La iluminación fue de 11 horas de luz con una intensidad de 250 lux. Los pollos fueron alojados sobre suelo con cama de paja y a una densidad de 11,25 pollos/m².

Alimentación

La base de la alimentación para todos los grupos, fue un pienso compuesto certificado ecológico, confeccionado por una fábrica de piensos autorizada y elaborado a base de cereales (maíz (30 %) cebada (9,8 %), trigo (12,86 %), soja no OGM (35,19 %), guisantes (8 %) y corrector ecológico autorizado (4 %). Este pienso, cumple plenamente con los requisitos de nutrientes para pollos camperos de crecimiento lento (0-28 días), de acuerdo a las Normas FEDNA 2018 (Santomá *et al.*, 2018).

El grupo Control solo tuvo el pienso compuesto certificado como fuente de alimentación, para los tratamientos experimentales se complementó con 5 % (T2), 10 % (T3), 15 % (T4) de harina de larva *Calliphora sp.* (CLM) reduciendo en cada caso el porcentaje correspondiente de cantidad de pienso. El objetivo

de la reducción del pienso para la inclusión de los porcentajes de CLM se debe al planteamiento de que sea el propio ganadero quien pudiera realizar en un futuro este pienso en su explotación; considerando CLM como una materia prima más.

Se analizó la composición química de la harina de larva y de los piensos tanto control como experimentales utilizando procedimientos estándar (AOAC, 1995): contenido de agua por secado a 105°C durante 4 horas; contenido de proteína por el método Kjeldahl; contenido de grasa por extracción Soxhlet; y el contenido de cenizas - por combustión.

El perfil de aminoácidos y ácidos grasos se analizó de los distintos piensos (T1, T2, T3, T4) administrados a los animales durante el experimento y el de la larva *Calliphora sp.* El perfil de ácidos grasos se determinó por cromatografía gaseosa según el método descrito por Lurueña *et al.* (2010), mientras que para la composición en aminoácidos se procedió al tratamiento previo de las muestras mediante hidrólisis ácida con ácido clorhídrico y posterior separación y cuantificación de los aminoácidos mediante cromatografía líquida (LC-MS). Este análisis fue realizado por el Laboratorio Abiomed (Carbajosa de la Sagrada, Salamanca, España).

Control del desarrollo

Cada semana, los pollos fueron pesados de forma individual, además de controlar el consumo de pienso en cada corral, muertes de los animales y estado general de los mismos, registrándose los pesos al día 2,9,16,23 y 30 (P1, P2, P3 P4, P5, respectivamente).

Se calcularon las ganancias medias diarias (GMD) entre los diferentes pesos registrados, de tal manera que GMD2-1 corresponde a la GMD del intervalo entre el P1 y P2, GMD3-2 del intervalo P2 y P3, GMD4-3 de los pesos P3 y P4, GMD5-4 de los pesos P5 y P4; finalmente GMDt es la ganancia media diaria entre el P1 y el P5 correspondiente al periodo total del experimento.

Se registró el consumo de pienso durante la duración del experimento para cada gallinero, permitiendo calcular el consumo total, y posteriormente el IC. El IC se calculó para el periodo total de duración del estudio.

Análisis estadístico

Para estudiar el efecto de la inclusión de CLM se empleó el análisis de varianza de una vía (ANOVA). Para la identificación de diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los grupos para las variables estudiadas se aplicaron la prueba post-hoc HSD Tuckey. Se realizó la prueba t de Student para muestras relacionadas en todos los grupos objeto de estudio (T1, T2, T3, y T4) comparando la diferencia entre pesadas (P1, P2, P3, P4 y P5), para comprobar el crecimiento de los animales.

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete de software SPSS (IBM SPSS Statistics 23).

- Prueba t de Student

Se observó que independientemente del grupo (T1, T2, T3, y T4), hubo incremento significativo ($p < 0,001$) de peso en todas las pesadas a lo largo del experimento (Tabla 4.1). Los resultados se expresan como la diferencia entre la primera pesada y la posterior para los distintos intervalos, siendo todos los valores negativos asociados al incremento de peso que se produjo en los animales para todas las fases de estudio.

Tabla 4.1. Prueba t de Student de muestras emparejadas para los grupos estudiados (T1, T2, T3 y T4)

		Crecimiento (kg)	t	p
Par 1	P1-P2	-0,088 ± 0,002	-40,398	***
Par 2	P2-P3	-0,154 ± 0,006	-27,417	***
Par 3	P3-P4	-0,263 ± 0,009	-30,946	***
Par 4	P4-P5	-0,264 ± 0,007	-36,000	***

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * $p < 0,05$ ** $p < 0,01$ *** $p < 0,001$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente estudio es el primero llevado a cabo utilizando harina de larva de *Calliphora sp.* (CLM) como parte del alimento en pollitos de crecimiento medio-lento criados en sistemas de producción ecológica durante la fase inicial de vida (1-30 d).

Composición química de la larva de *Calliphora sp.*

La Tabla 4.2 muestra la composición química de la harina de larva de *Calliphora sp.* (CLM). Los resultados obtenidos para el contenido en proteína de CLM (48,5 % MS) son similares a los obtenidos por Sing *et al.* (2012) que estableció un rango desde 42,5 a 55,5 % para otras especies del género Calliphoridae. Sin embargo, el contenido en PB fue inferior a lo publicado por Hwangbo *et al.* (2009) y Cullere *et al.* (2016) quienes hallaron mayores valores para el contenido en proteína para las larvas de *Musca domestica* (LMC) y *Hermetia illucens* (HI) (63,99 y 51,8 % MS respectivamente). El contenido en proteína para CLM es superior que la concentración de PB para otras fuentes proteicas tradicionales utilizadas en avicultura convencional como es la soja (44-48 % MS), y sin embargo, inferior a la harina de pescado (59-70 % MS) (De Blas, *et al.*, 2010).

Se han establecido diferencias en la composición química de los insectos en función de la edad a la que se recolectan las larvas disminuyendo el contenido de proteína a medida que la edad es menor. Este fenómeno puede relacionarse con la fase de pupa en la metamorfosis donde las larvas comienzan a almacenar más energía en forma de lípidos (Pearincott, 1960) y la larva utiliza las proteínas en reacciones en la formación de la capa de quitina (Kramer *et al.*, 1986). Aniebo *et al.* (2010) describieron que las técnicas de procesamiento también influyen sobre la composición nutricional de las larvas; obteniéndose que el secado al sol de las larvas produjo larvas con menores valores de proteína que las larvas secadas al horno y el contenido de grasa fue mayor en las larvas secadas al sol que en las larvas secadas al horno. Sing *et al.* (2012) atribuye las diferencias, además, a la

variación en el método de análisis para la determinación del contenido en proteína entre los distintos estudios publicados.

Tabla 4.2. Composición química en términos de humedad, fibra bruta, grasa bruta y cenizas de la larva de *Calliphora sp.*

Determinación	Resultados
Humedad	8,1
Fibra bruta	12,3
Grasa bruta	26,6
Proteína bruta	48,5
Cenizas	4,5

Los resultados se presentan como % sobre el total de MS.

Como hemos descrito, no solo la cantidad de proteína disponible determina el uso de estas fuentes alternativas, si no también, la calidad de las mismas. La calidad de la proteína, y por lo tanto el valor nutricional, está determinada por la composición de aminoácidos y la digestibilidad de la fracción proteica de los alimentos. En nuestro estudio, la leucina fue el aminoácido esencial más abundante en CLM (2,02 g/100g), mientras que el ácido glutámico fue el más abundante de los aminoácidos no esenciales (7,3 g/100g) (Tabla 4.3). Resultados similares hallaron De Marco et al. (2016), que encontraron la lisina y ácido glutámico como los aminoácidos esenciales y no esenciales más abundantes, respectivamente en la especie *Tenebrio molitor* (TM). Mientras que, en el caso de HI fueron leucina y lisina. Sing et al. (2012) coincidieron en que el ácido glutámico fue el aminoácido no esencial más abundante para otras especies del género *Calliphora*. Nuestro estudio mostró que nuestros insectos fueron buenas fuentes de metionina y treonina (0,98 y 1,31 g/100g respectivamente); aunque deficientes en lisina (1,85 g/100 g vs 6,08 g/100 g) cuando se les comparan con el perfil de aminoácidos de la soja (De Blas et al., 2010). Los perfiles de aminoácidos obtenidos en nuestro estudio estuvieron dentro del rango de lo publicado por autores previos para otras especies de insectos (Ramos-Elorduy et al., 2002; Barroso et al., 2014; Makkar et al., 2014; Henry et al., 2015).

Nuestros niveles de grasa bruta (GB) fueron superiores (26,6 % MS) que los descritos en estudios previos para otras especies de insectos (23,1 y 21,8 % MS respectivamente) (Hwangbo et al., 2009; Cullere et al., 2016). Los niveles más altos de grasa tienden a aumentar la palatabilidad de dietas a la vez que aumenta la densidad energética de las mismas (Makkar et al., 2014). La bibliografía consultada muestra variaciones sobre el contenido en GB entre la misma especie en función de la fase de vida en la que se encuentra el insecto; en el caso de LMC tuvo mayores niveles de grasa para la fase de pupa (20,6 vs. 15,5 % MS) mientras que LMS para la fase larvaria y prepupa mostró valores similares (27,1 vs. 28,8 % MS) (Veldkamp et al., 2015). Estas diferencias pueden atribuirse como se ha citado anteriormente, no solo a la etapa de desarrollo (fase adulta o larvaria) sino también a la edad de recolección de los mismos (Pearincott, 1960). De igual forma que ocurría en el contenido en proteína, las diferencias en los niveles de GB hallada entre los distintos estudios consultados,

puede atribuirse a la variación en el sustrato utilizado durante la producción de los insectos y que utilizan como fuente de alimentación (Barroso *et al.*, 2014).

Tabla 4.3. Perfil de aminoácidos de la larva de *Calliphora sp.*

Contenido Total	Resultados	Unidades
4-Hidroxiprolina	62,00	mg/100 g
Ácido Aspártico + Asparragina	4,70	g/100 g
Ácido Glutámico + Glutamina	7,10	g/100 g
Alanina	1,73	g/100 g
Arginina	1,88	g/100 g
Cisteína	<20,00	mg/100 g
Cistina	37,00	mg/100 g
Fenilalanina	0,40	g/100 g
Glicina	2,01	g/100 g
Histidina	2,02	g/100 g
Isoleucina	0,75	g/100 g
Leucina	2,02	g/100 g
Lisina	1,85	g/100 g
Metionina	0,98	g/100 g
Prolina	0,67	g/100 g
Serina	1,71	g/100 g
Tirosina	1,45	g/100 g
Treonina	1,31	g/100 g
Triptófano	<20,00	mg/100 g
Valina	1,27	g/100 g
Proteína Hidrolizada	32,10	g/100 g

Los resultados se presentan sobre el total de proteína bruta.

La larva *Calliphora sp.* mostró un contenido en fibra bruta (FB) del 12,3% de MS (Tabla 3.2) superior al que tienen otras fuentes proteicas como la soja (5,9 % MS) o la harina de pescado (1,0 % MS). Los insectos también pueden ser una fuente de fibra debido a su alto contenido de quitina, que representa aproximadamente el 10 % de todo el insecto seco, aunque el contenido en quitina depende de forma fundamental de la especie utilizada (Veldkamp *et al.*, 2015). A pesar de que, hasta hace poco, la idea más extendida era que los piensos para aves durante las primeras fases debían de incluir baja cantidad de FB atribuyéndole efectos negativos sobre el consumo voluntario, palatabilidad y digestibilidad de los nutrientes; actualmente, se sabe que el nivel de fibra puede ser más alto que el recomendado anteriormente (Santomá *et al.*, 2018). Es por ello que la inclusión de CLM podría ser aceptable no solo desde el punto de vista proteico sino también como un aporte de fibra.

Para el contenido en cenizas (Tabla 4.2) nuestros resultados (6,3 % MS) fueron superiores a los hallados para TM (3,5 % MS) pero menores que los mostrados para la LMC (11,2 % MS) y la fase de pupa (7,7 % MS) y para la LMS (11,0 % MS) y su fase prepupa (14,5 % MS) (Veldkamp *et al.*, 2015).

La Tabla 4.4 muestra el análisis de ácidos grasos de la harina de larva *Calliphora sp.* utilizada en nuestro estudio. Nuestros resultados muestran que el mayoritario fue el ácido oleico (C18:1 n-9), que supuso el 38,05 % del total de los ácidos grasos. Seguidamente, los ácidos grasos con mayor proporción fueron el palmítico (C16:0) y palmitoleico trans (C16:1 n-7t).

Tabla 4.4. Perfil de ácidos grasos de la especie *Calliphora sp.* (CLM) expresado en g/100 g de grasa

CLM	
A.Láurico (C12:0)	0,14
A.Mirístico (C14:0)	2,90
A.Mirístoleico (C14:1)	0,42
A.Pentadecanoico (C15:0)	0,03
A.Pentadecanoico cis (C15:1c)	0,04
A.Palmitico (C16:0)	29,28
A.Palmitoleico cis(C16:1 n-7c)	5,47
A.Palmitoleico trans(C16:1 n-7t)	12,25
A. Margárico (C17:0)	0,23
A. Heptadecenoico (C17:1 n-10)	0,28
A.Esteárico (C18:0)	3,12
A.Oleico (C18:1 n-9c)	38,05
A.Elaídico (C18:1 n-9t)	0,05
A.Linoleico (C18:2 n-6c)	6,22
A.α-Linolénico (C18:3 n-3)	0,19
A.γ-Linolénico (C18:3 n-6)	0,02
A.Araquídico (C20:0)	0,07
A.Eicosenoico (C20:1 n-9)	0,15
A.Araquidónico (20:4 n-6)	0,17
EPA (C20:5 n-3)	0,37
A.Docosanoico (C22:0)	0,05
A.Docosatetranoico (C22:4 n-6)	0,20
ΣSFA	35,83
ΣMUFA	56,61
ΣPUFA	7,57
ΣSFA/ΣPUFA	4,73
Σn-3	0,56
Σn-6	0,39
Σn-6/Σn-3	0,69

Nuestros resultados se encuentran parcialmente de acuerdo con lo observado por Dabbou *et al.* (2018) que hallaron un contenido mayoritario en ácido oleico en especies de TM. Por otra parte, Sealey *et al.* (2011) y Hwangbo *et al.* (2009) mostraron niveles más elevados de ácido mirístico, palmitoleico y oleico; mientras que fueron inferiores en palmítico y esteárico (C16:0, C18:0) en larvas LMS. Probablemente estas variaciones se atribuyen no solo a las diferencias propias de la especie utilizada (HI, TM, CLM), y al sustrato utilizado para la cría de los insectos, sino también a la edad de recolección de los insectos

(Barroso *et al.*, 2014). Estos hallazgos quedan confirmados por lo descrito por Hwangbo *et al.* (2009) que encontraron variaciones en el contenido en ácidos grasos cuando compararon larvas y pupas de la misma especie (LMC). Coincidiendo con lo descrito previamente, parece que el sustrato de producción de los insectos y la alimentación que reciben los insectos podría suponer una oportunidad para modificar la composición en el perfil lipídico de los insectos, potenciando aquellos beneficiosos para la alimentación de los animales.

Se observó una mayor proporción de ácidos grasos saturados (SFA) frente al contenido en ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) (35,83 vs. 7,57 g/100 g de muestra). Esto coincide con lo expuesto por Barroso *et al.* (2017) que describieron una proporción mayor de SFA frente a PUFA en la composición de HI considerando esto un factor limitante de la inclusión de los insectos en la dieta de los pollos. En contraste, Hwangbo *et al.* (2009) hallaron un contenido mayor en PUFA frente a SFA en LMC. Sin embargo, estos autores han planteado que para que esta circunstancia no fuera una limitación en la inclusión en la dieta, el perfil lipídico de los insectos puede ser modificado mediante la manipulación del sustrato de cría y de la dieta que reciben tal y como se ha indicado anteriormente.

Por lo tanto, según los datos mostrados previamente, la harina de larva *Calliphora sp.* puede proporcionar nutrientes suficientes (en cuanto a la composición química estudiada) para la alimentación de pollos de engorde (tanto en la fase inicial como en la de crecimiento-acabado). Además, contienen cantidades suficientes de aminoácidos, ácidos grasos y otros nutrientes necesarios para la cría de pollos en regímenes de producción ecológica

Características de la inclusión de larva *Calliphora sp.* en el pienso

La incorporación de CLM en los piensos del estudio mostró un aumento de los valores de PB y de grasa bruta GB en el pienso a medida que se incrementaba la concentración de CLM con respecto al tratamiento control (Tabla 4.5). El incremento de la GB justifica el aumento de los niveles de energía digestible y la disminución de los niveles de almidón que lo hacen de acuerdo a la incorporación gradual de CLM en el pienso. Esto se encuentra de acuerdo con lo descrito por Ogeto *et al.* (2017) que encontraron un incremento en la concentración de GB y una caída en el valor de cenizas. Los niveles de PB fueron similares para el grupo que incluyó CLM al 10 y al 15 % atribuyendo las diferencias a la propia composición de las materias primas en el momento de la realización de los piensos. En contraste, Cullere *et al.* (2016) hallaron una disminución en el valor de PB y GB en los piensos tratamiento cuando incluyeron harina de larva como sustitución parcial de la soja.

Como se observa en la Tabla 4.5 existe un contenido alto en calcio (>1,05 %) y en fósforo (>0,47 %) en estos piensos. Concretamente, el porcentaje de calcio fue mayor en aquellos piensos que incluyeron CLM. En esta línea, Ghosh *et al.* (2018) mostraron que los insectos son una buena fuente de minerales principalmente de calcio, hierro y zinc. El calcio y el fósforo son de gran importancia en los sistemas de producción de pollos en regímenes abiertos; se ha considerado que el incremento de la inclusión de estos minerales permite una reducción de la morbilidad y mortalidad asociadas a crecimientos rápidos que provocan lesiones locomotoras durante la fase inicial de cría (Santomá *et al.*,

2018), por lo que podría resultar exitoso la inclusión de CLM en estos términos. En contraste, Makkar *et al.* (2014) describieron que los insectos son deficientes en calcio requiriéndose un aporte extra en la dieta, sobre todo en el caso de aves de doble aptitud (cárnica-ponedora).

Tabla 4.5. Análisis químico de los distintos tratamientos utilizados en el experimento

	Control (T1)	5 % (T2)	10 % (T3)	15 % (T4)
E. Digestible	2.699	2.858	3.016	3.175
Humedad (105 °C)	9,24	9,35	9,19	8,92
Proteína Bruta	21,45	24,09	25,49	25,98
Fibra Bruta	3,68	4,15	3,51	3,21
Grasa Bruta	5,69	7,10	8,25	8,40
Cenizas (550 °C)	7,09	6,81	6,76	6,66
Almidón	38,48	35,87	33,70	32,28
Calcio	0,86	1,47	2,08	1,47
Fosforo Total	0,84	0,80	0,75	0,80
Metionina	0,33	0,07	0,12	0,16
M+C	0,70	0,67	0,63	0,60
Lisina	1,22	0,70	0,76	0,82
Triptófano	0,27	0,26	0,25	0,23
Treonina	0,83	0,50	0,55	0,59
Arginina	1,51	0,79	0,85	0,90
Valina	1,04	0,40	0,44	0,49
Isoleucina	0,95	0,28	0,31	0,33
Sal	0,35	0,34	0,32	0,30
Sodio	0,17	0,16	0,15	0,14
Potasio	0,99	0,94	0,89	0,84
Cloro	0,22	0,21	0,20	0,19

Los resultados se presentan como Kcal/kg para la Energía digestible; % para los parámetros de Humedad, Proteína Bruta, Fibra Bruta, Grasa Bruta, Cenizas, Almidón, Calcio, Sal, Fosforo total, Sodio, Potasio, Cloro y Almidón sobre el total de MS. Para los aminoácidos; Metionina, M+C (Metionina+Cisteína) Lisina, Triptófano, Treonina, Arginina, Valina, Isoleucina los resultados se presentan como g/100g MS

Como se ha mostrado, las dietas de los tratamientos de nuestro estudio no tuvieron los mismos valores de proteína, ni de grasa (en términos de GB y Energía digestible); por lo que, en nuestro caso, no se trató de dietas ni isoproteicas, ni isoenergéticas (Tabla 4.5). Estudios anteriores (Biasato *et al.*, 2016) describieron que las dietas que incluyeron insectos tuvieron similar composición proteica con respecto al control, pero mostraron variaciones en el contenido en grasa (31 vs. 50 g/kg MS) no considerándose isoenergéticas. De igual forma, Dabbou *et al.* (2019) trabajaron con piensos con diferente composición grasa cuando incluyeron TM en la dieta de los pollos. Mientras que Cullere *et al.* (2016) trabajo con mezclas con distinta composición tanto proteica como energética. Por otra parte, Sealey *et al.* (2011) describieron que el uso de dietas isonergéticas reduce los niveles de proteína digestible o, más específicamente, los aminoácidos disponibles en la dieta, cuando se incluye harina de insecto debido a la presencia de la quitina. La quitina, polímero no ramificado de N-acetilglucosamina, es un componente primario de los exoesqueletos de invertebrados y es indigestible para las aves porque carecen de actividad de la enzima encargada de su degradación. Por lo que estos autores indicaron que la existencia de diferencias proteicas entre los distintos tratamientos administrados a los animales se produce para solventar las

limitaciones que se hallarían si se incorporasen los mismos niveles de proteína debido a la composición diferenciada de aminoácidos de los distintos tratamientos.

Tabla 4.6. Perfil de ácidos grasos para los distintos piensos expresado en g/100 g de grasa

	T1	T2	T3	T4
A.Láurico (C12:0)	0,12	0,12	0,12	0,12
A.Mirístico (C14:0)	0,34	0,47	0,60	0,73
A.Mirístoleico (C14:1)	1,73	1,67	1,60	1,54
A.Pentadecanoico (C15:0)	0,12	0,11	0,11	0,10
A.Pentadecanoico cis (C15:1c)	0,00	0,00	0,00	0,01
A.Palmítico (C16:0)	38,26	37,81	37,36	36,91
A.Palmítoleico cis(C16:1 n-7c)	0,17	0,43	0,70	0,96
A.Palmítoleico trans(C16:1 n-7t)	0,30	0,90	1,49	2,09
A. Margárico (C17:0)	0,61	0,60	0,58	0,56
A. Heptadecenoico (C17:1 n-10)	0,09	0,10	0,11	0,12
A.Esteárico (C18:0)	12,34	11,88	11,42	10,95
A.Oleico (C18:1 n-9c)	35,49	35,62	35,75	35,88
A.Elaídico (C18:1 n-9t)	0,12	0,12	0,11	0,11
A.Linoleico (C18:2 n-6c)	6,66	6,64	6,61	6,59
A.α-Linolénico (C18:3 n-3)	0,25	0,25	0,25	0,24
A.γ-Linolénico (C18:3 n-6)	1,38	1,31	1,24	1,17
A.Araquídico (C20:0)	1,38	1,31	1,25	1,18
A.Eicosenoico (C20:1 n-9)	0,07	0,07	0,07	0,08
A.Araquidónico (20:4 n-6)	0,10	0,10	0,10	0,11
EPA (C20:5 n-3)	nd	0,02	0,04	0,06
A.Docosanoico (C22:0)	nd	0,00	0,01	0,01
A.Docosatetranoico (C22:4 n-6)	0,20	0,20	0,20	0,20
ΣSFA	55,89	54,88	53,88	52,88
ΣMUFA	37,91	38,85	39,78	40,72
ΣPUFA	6,20	6,27	6,34	6,41
ΣSFA/PUFA	9,01	8,80	8,58	8,37
Σn-3	0,25	0,27	0,28	0,30
Σn-6	0,36	0,36	0,36	0,37
Σn-6/Σn-3	1,44	1,41	1,37	1,33

nd: no detectado

La Tabla 4.6 muestra los resultados obtenidos para el perfil de ácidos de los distintos tratamientos utilizados en nuestro estudio. El pienso control (T1) fue la base para el resto de tratamientos que se completó con la proporción indicada de CLM en cada caso. Para el pienso control observó un contenido mayoritario en ácido palmítico (38,26 g/100 g de muestra), seguido de ácido oleico (35,49 g/100 g) y esteárico (12,34 g/100 g). Aunque este orden de relación se mantuvo en los ácidos grasos mayoritarios en los piensos restantes (T2, T3 y T4), el incremento de CLM en el pienso, provocó un descenso en el contenido en dichos ácidos (palmítico, oleico y esteárico). No obstante, la inclusión de CLM provocó un incremento gradual en la concentración de los ácidos mirístico (C14:0), palmítoleico cis (C16:1 n-7c) y trans (C16:1 n-7t), y aunque de una forma más sutil también sobre el contenido en oleico

Para las fracciones lipídicas, se observó que el contenido en SFA (55,89 g/100 g) fue superior al observado para PUFA (6,20 g/ 100g) y en MUFA (37,91 g/100 g) en el pienso control (T1). Al igual que ocurría para las fracciones individuales, estas tendencias se mantuvieron para todos los piensos estudiados. La inclusión de CLM en el pienso provocó un descenso gradual en el contenido en SFA, mientras que se incrementó el contenido en MUFA y PUFA. De forma similar, cuando se incorporó CLM se produjo un aumento del contenido en n-3 mientras que se redujo el contenido en n-6. Esto queda justificado debido a las variaciones en la composición individual de los ácidos grasos debido al perfil lipídico de la harina de la larva.

Control del desarrollo

a. Pesos

Durante todo el período experimental las aves se mantuvieron sanas, no se observaron signos de enfermedad y la tasa de mortalidad fue nula en todos los grupos. La Tabla 4.7 recoge los pesos de los animales obtenidos en los distintos puntos de muestreo del periodo experimental.

El peso inicial de los pollitos no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los cuatro tratamientos. En el P2 y en el P3 a pesar de que hubo grupos con pesos significativamente mayores, no existió un comportamiento proporcional ni relacionado con la dieta suministrada. Si bien es cierto que a partir de la pesada P4 se encontró que la inclusión de CLM aumentaba de forma significativa el peso ($p < 0,01$) a medida que se incrementaba la concentración de CLM en el pienso. Al final de la primera fase de crecimiento de los pollitos (P5) los animales que habían recibido el tratamiento del 10 % y del 15 % tenían un peso significativamente mayor ($p < 0,01$) frente al 5 %.

Tabla 4.7. Peso (kg) de los animales que han recibido los distintos tratamientos

	Control (T1)	5 %(T2)	10 %(T3)	15 %(T4)	p
P1	0,049 ± 0,001	0,047 ± 0,001	0,050 ± 0,001	0,049 ± 0,001	ns
P2	0,130 ^{bc} ± 0,003	0,126 ^b ± 0,004	0,147 ^a ± 0,006	0,145 ^{ac} ± 0,003	**
P3	0,281 ^{ab} ± 0,006	0,308 ^a ± 0,012	0,263 ^b ± 0,011	0,315 ^a ± 0,012	**
P4	0,525 ^b ± 0,015	0,523 ^b ± 0,017	0,585 ^{ab} ± 0,019	0,589 ^a ± 0,016	**
P5	0,787 ^{ab} ± 0,022	0,751 ^b ± 0,021	0,868 ^a ± 0,024	0,874 ^a ± 0,026	**

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * $p < 0,05$ ** $p < 0,01$ *** $p < 0,001$. Superíndices a, b, distintos reflejan diferencias estadísticamente significativas.

Resultados similares fueron obtenidos por Hwangbo *et al.* (2009), Biasato *et al.* (2017), Ogeto *et al.* (2017) y Dabbou *et al.* (2018). Loponte *et al.* (2017) no hallaron diferencias al cabo de 43 días de edad en perdices que habían recibido HI, TM o soja; sin embargo, al cabo de 50-57 días el peso de las perdices que habían recibido insectos fue mayor. Finalmente, ni Castellini *et al.* (2006) ni Bovera *et al.* (2015) hallaron variaciones sobre el peso final de los animales. Las diferencias entre los distintos autores pueden estar condicionadas por la especie de insecto utilizada y la composición intrínseca del mismo.

Los mejores resultados en el peso final (P5) en los animales que habían consumido CLM, pueden relacionarse con que la harina de larva tiene una composición favorable de nutrientes cuando se le compara con la soja, especialmente en calidad de aminoácidos; así como una mayor digestibilidad de proteínas y mejor perfil lipídico (Tabla 4.6). En las aves de corral, el aumento de la digestibilidad de la proteína contribuye al aumento de peso en los pollos, y el aumento de peso se ve como resultado de la acumulación de proteínas relacionadas con los cambios de nutrientes y el contenido de energía del alimento. Se necesitan concentraciones relativamente altas de aminoácidos en la dieta para optimizar la utilización del alimento y para apoyar el rápido crecimiento de los pollos de carne (Boorman *et al.*, 1996). Teguiá *et al.* (2002) encontraron que, desde el primer día hasta las cuatro semanas de edad, el peso más bajo se registró con el grupo de control de los polluelos, mientras que las aves alimentadas con la dieta con harina de larva (15 %) obtuvieron el peso más alto.

Aunque, los estudios no son comparables en su totalidad debido a que los insectos utilizados son diferentes, los resultados indican claramente que dietas que incluyen insectos tienen el potencial de ser fuentes de alimentación animal, lo que produce animales con pesos mejorados frente aquellos que recibieron dietas que contenían ingredientes de alimentación tradicionales. En general, los resultados verifican que las dietas que incluyen insectos contienen suficientes nutrientes para la producción de pollos.

b. Ganancia media diaria (GMD)

En cuanto a la GMD (Tabla 4.8) se observa que existen diferencias estadísticamente significativas debidas a la inclusión de harina de CLM para todos los intervalos considerados. Estos resultados se muestran como el peso adquirido (kg) por día (d) para cada uno de los intervalos contemplados en el experimento (kg/d). Los grupos que habían recibido 15 % de harina de larvas tuvieron una GMDt superior ($p < 0,01$) al grupo T2, que fue el grupo que presentó el valor más bajo. Al igual que ocurría para el peso, la GMD 5-4 mostró dos grupos claramente diferenciados, en los que el incremento de concentración del CLM (T3 y T4) mostraron valores significativamente mayores ($p < 0,05$) frente al control (T1) y al grupo con menor inclusión de CLM (T2).

Los resultados mostrados por Hwangbo *et al.* (2009) y Dabbou *et al.* (2018) encontraron una mejora significativa de la GMD en los pollos que habían recibido harina de insectos frente al control durante el primer periodo de vida (1-30 d). En contraste, Castellini *et al.* (2006), Bovera *et al.* (2015), Ogeto *et al.* (2017) y Loponte *et al.* (2017) no hallaron variaciones sobre la GMD cuando se incluyó harina de insectos en la dieta de los animales con respecto al control. Cuando se consideró el nivel de inclusión de harina, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre la GMDt de los grupos T3 y T4. Estos hallazgos plantean que no existe proporcionalidad entre el grado de inclusión de CLM y el peso final o la GMD durante el primer mes de vida.

Tabla 4.8. Efecto de los distintos niveles de CLM sobre la GMD (kg/d) para los distintos periodos de estudio

	Control (T1)	5 %(T2)	10 %(T3)	15 %(T4)	p
GMD2-1	0,011 ^b ± 0,000	0,011 ^b ± 0,001	0,014 ^a ± 0,001	0,014 ^a ± 0,000	**
GMD3-2	0,022 ^{ab} ± 0,001	0,026 ^a ± 0,002	0,017 ^b ± 0,001	0,024 ^a ± 0,002	***
GMD4-3	0,035 ^{bc} ± 0,001	0,031 ^c ± 0,002	0,046 ^a ± 0,002	0,039 ^{ab} ± 0,001	***
GMD5-4	0,037 ^b ± 0,002	0,033 ^b ± 0,002	0,040 ^a ± 0,004	0,041 ^a ± 0,002	*
GMDt	0,026 ^{bc} ± 0,001	0,025 ^c ± 0,001	0,029 ^{ab} ± 0,001	0,029 ^a ± 0,001	**

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05 ** p <0,01 *** p <0,001. Superíndices a, b, distintos reflejan diferencias estadísticamente significativas.

c. Consumos

El grupo control (T1) consumió una cantidad significativamente mayor (p <0,01) de pienso (1,165 kg) con respecto a los grupos que habían recibido CLM (Tabla 4.9). Mientras que en los grupos que habían recibido CLM a pesar de haber diferencias significativas (p <0,01) entre ellos, no se observó una proporcionalidad en función de la inclusión de CLM. Sin embargo, debe destacarse que no se produjeron rechazos en el consumo del pienso durante la duración del experimento, lo que queda justificado por la mayor GMD y peso hallado en estos grupos (T3 y T4)

Tabla 4.9. Efecto de los distintos niveles de CLM sobre el Consumo (kg) e Índice de Conversión (IC)

	Control (T1)	5 %(T2)	10 %(T3)	15 %(T4)	p
Consumo	1,165 ^a ± 0,025	1,076 ^c ± 0,002	1,098 ^b ± 0,001	1,080 ^c ± 0,002	***
IC	1,600 ^a ± 0,051	1,547 ^a ± 0,043	1,357 ^b ± 0,040	1,331 ^b ± 0,405	***

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05 ** p <0,01 *** p <0,001. Superíndices a, b, distintos reflejan diferencias estadísticamente significativas.

Adeniji (2007) encontró que la inclusión de harina de larvas no tuvo significación (p >0,05) sobre el consumo de alimento y esto concuerda con los resultados encontrados por Castellini *et al.* (2006), Hwangbo *et al.* (2009), Schiavone *et al.* (2017) y Khan *et al.* (2018). Lachica *et al.* (2011) consideran que cuando se ofrece insectos como parte de la dieta de las aves, se produce una ingestión muy elevada en las primeras semanas de vida; que se estabiliza a partir de la cuarta semana, lo que indica que siempre que exista la posibilidad de encontrar invertebrados en el medio habrá un nivel de consumo de proporción considerable. En ello coincide lo descrito por Ballitoc *et al.* (2013) que justificaron un incremento del consumo en los pollos que recibieron TM atribuyendo al aumento de palatabilidad de estas mezclas y relacionándolo con el comportamiento natural que tienen estos animales cuando están en libertad.

Frente a esto, otros autores (Atteh *et al.*, 1993; Bamgbose, 1999) consideran que la inclusión por encima del 25 % de larvas de mosca en la dieta de los pollos puede causar un descenso del consumo como consecuencia del oscurecimiento del pienso. Se ha planteado que la proporción óptima de inclusión para evitar rechazos depende de la edad de los animales. Awoniyi *et al.* (2003) encontraron mejores resultados al reemplazar de forma parcial la

harina de pescado (al 25 %) con harina de gusano, que cuando se producía el reemplazo de forma de total en pollos de engorde viejos; mientras que los pollos de engorde jóvenes no redujeron el consumo cuando se les ofrecieron piensos que tenían un reemplazo total de la fuente proteica.

d. Índice de conversión

Nuestro estudio mostró diferencias significativas en el IC ($p < 0,001$); a medida que se incrementaba la concentración de CLM en el pienso, de modo que disminuyó el valor del IC (Tabla 4.9). Los grupos que habían consumido una mayor cantidad de CLM (T3 y T4) tuvieron un menor IC, este comportamiento paralelo es similar a lo que ocurría con el peso al final del experimento (P5); cuanto mayor fue el peso, menor fue el IC para los grupos T3 y T4. Esto puede relacionarse con la mejor calidad proteica de la larva CLM incluida en el pienso. Los pollitos que recibieron el tratamiento T3 y T4 consumieron una mayor cantidad de proteína con respecto al control, y de mejor calidad, que es la responsable de la disminución del IC y el aumento del peso. El IC menor indica una potencial ventaja para los ganaderos en términos de beneficio económico derivado de la inclusión de CLM en la dieta de los pollos.

Resultados similares fueron hallados por Ballitoc *et al.* (2013) que describieron un descenso en el IC a medida que se incrementaba la concentración de TM en los tratamientos administrados a los pollitos. De igual modo, distintos autores (Hwangbo *et al.*, 2009; Lachica *et al.*, 2011; Makkar *et al.*, 2014; Kahn *et al.*, 2018) han descrito mejoras sobre el IC en aquellos animales que recibían insectos como fuente de proteína en la dieta. Estos autores atribuyeron el mejor valor para el IC, a la mejor calidad proteica de las larvas frente a otras materias primas. Dobbau *et al.* (2018) observaron una mejora del IC durante el primer periodo de vida de los animales, mientras que a partir del periodo de crecimiento hasta el de sacrificio (10-35 d) se produjo un empeoramiento del IC. Estos resultados difieren de los hallazgos de Téguia *et al.* (2002), Awoniyi *et al.* (2003), Adeniji (2007), Bovera *et al.* (2015), Ogeto *et al.* (2017) y Schiavone *et al.* (2018) que no encontraron un efecto significativo de la suplementación con harina de larvas sobre el IC. Estos autores atribuyen los hallazgos al alto contenido de quitina de las LMS, que no es digestible por animales monogástricos, y que puede afectar negativamente a la digestibilidad de proteínas.

Nuestro estudio plantea que la inclusión de CLM como sustitución parcial del pienso compuesto formulado con soja es adecuado, como ingrediente de alimentación, para las dietas de pollos durante el período inicial, influyendo favorablemente en el crecimiento de los pollos. La modulación positiva del peso, de la GMD y el IC por la inclusión de harina de larva en la dieta de los pollos está parcialmente de acuerdo con lo informado por Loponte *et al.* (2011) y Dabbou *et al.* (2018) quien observó una tasa de crecimiento mejorada y mayor peso en pollos y Perdices de Berbería, respectivamente, alimentadas con harina LMS como componente de una dieta completa y como reemplazo parcial (10 % ó 50 %) de harina de soja.

CONCLUSIONES

Se observó que el reemplazamiento parcial del pienso control por harina de larva *Calliphora sp.* (CLM) en la dieta de los pollos durante el primer mes de vida, provocó un incremento de peso al final del experimento (P5), en aquellos animales que habían consumido mayor proporción de CLM (T3 y T4). El grupo con mayor inclusión de CLM (T4) mostraron una GMD total mayor para el periodo de estudio. Se observó una caída en el IC a medida que se incrementó la concentración de CLM, de forma inversa a la cantidad de pienso consumido.

Sin embargo, no se observó proporcionalidad en la mejoría sobre los parámetros productivos con respecto a la concentración de CLM incluido en el pienso.

SECCIÓN 2: Efecto de la inclusión de harina de larva de *Calliphora sp.* en la dieta durante el primer mes de vida sobre la calidad de la carne de pollos de crecimiento medio-lento.

RESUMEN

En el presente estudio se evaluó el efecto de la sustitución de harina de soja por harina de larva (*Calliphora sp.*) (CLM), en la dieta de pollos de crecimiento medio-lento en la fase inicial de su desarrollo, sobre la composición de la carne, estado oxidativo, color, pH, capacidad de retención de agua, textura y perfil de ácidos grasos. Un total de 120 pollitos macho de crecimiento medio (RedBro) de un día de edad fueron asignados al azar a cuatro tratamientos dietéticos, un grupo control (C) y tres grupos de tratamiento con dos repeticiones (n=15). El grupo Control solo tuvo el pienso como fuente de alimentación, para los tratamientos experimentales, se complementó con 5 % (T2), 10 % (T3), o 15 % (T4) de harina de larva *Calliphora sp.* (CLM) reduciendo en cada caso el porcentaje correspondiente de cantidad de pienso. A los 30 días de vida, un total de 7 pollitos por cada grupo fueron sacrificados (S1). El resto de los pollitos fueron trasladados a gallineros con acceso al exterior durante las horas de luz, y todos ellos recibieron un mismo pienso ecológico sin CLM suministrado *ad libitum*. Al mes, el resto de pollitos fueron sacrificados (S2); donde al igual que en el caso del S1, se extrajo la pechuga (*Pectoralis major*) y se realizaron los análisis de calidad correspondientes. Para el primer sacrificio (S1) nuestro estudio mostró un valor significativamente más alto ($p < 0,01$) en las pérdidas por cocción para el grupo control (T1) con respecto resto de tratamientos, que disminuyó a medida que lo hacía el incremento de CLM en el pienso. El resto de parámetros, peso de la pechuga, peso del cuarto, humedad, grasa, TBARS, L*, a*, pH, perfil lipídico, y textura no se vieron afectados por la inclusión CLM. La composición en el perfil lipídico mostró un incremento significativo ($p < 0,01$) del ácido palmitoleico para los pollos del T4 con respecto al control. El resto de ácidos grasos no se vieron afectados. Las fracciones generales de ácidos grasos se vieron modificadas significativamente ($p < 0,05$) en términos de SFA totales, n-6/n-3 y TI; pudiendo atribuirse a efectos accidentales. En el segundo sacrificio (S2), no se observaron diferencias significativas para los parámetros de calidad estudiados entre los distintos tratamientos, salvo para el valor a* ($p > 0,05$). Así mismo, las variaciones para la calidad de la pechuga halladas para el primer sacrificio (S1) se vieron eliminadas. En el perfil de ácidos grasos, se observaron diferencias significativas para el ácido elaídico y para el ratio n-6/n-3, mientras que el resto de ácidos grasos y fracciones estudiadas no se vieron afectadas para el S2. Nuestros resultados mostraron que el reemplazamiento parcial con CLM en la dieta inicial (1-30 d) de pollos como fuente proteica, es una técnica posible que permite obtener una carne de calidad comparable al uso de dietas convencionales. El sistema NIRS clasificó de forma correcta el 92,1% de las muestras analizadas en el primer sacrificio (S1). Se concluyó que el NIRS podría ser un sistema eficaz para la identificación de la canal en función del tratamiento dietético que reciben los pollos.

Palabras clave: *harina de insectos, pollo ecológico, calidad de la carne*

INTRODUCCIÓN

Las aves de corral como animales monogástricos, requieren proteínas de calidad suficiente que permitan compensar la incapacidad para sintetizar aminoácidos esenciales. Sin embargo, las proteínas de uso convencional no son ecológicamente o económicamente sostenibles. Es por ello que la búsqueda de alternativas proteicas suficientes tanto en calidad como en cantidad es una prioridad para estos productores. El potencial de la proteína de insecto como parte de la dieta de animales monogástricos ha atraído mucha atención en los últimos años (Pretorius, 2011) ya que están evolutivamente adaptados para comer insectos como una parte natural de su dieta (Biasato *et al.*, 2017).

Es bien sabido que, en los animales monogástricos, la composición y características de la carne están fuertemente influenciados por el alimento consumido. A este respecto, la calidad de los productos derivados de animales que han consumido insectos es de especial interés y aún no se han investigado lo suficiente (Cullere *et al.*, 2018). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue estudiar la calidad físico-química de la carne de pollos que recibieron diferentes porcentajes de un suplemento de harina de larva de mosca durante el primer mes de vida. Para ello, se suministró dicha harina durante la fase inicial de vida (1-30 d) y posteriormente, se les proporcionó a los pollitos acceso al aire libre y pienso certificado ecológico común para todos ellos durante un periodo de 30 días más. Se evaluó si los posibles efectos derivados de la inclusión durante la primera etapa de vida se mantenían una vez que la fuente proteica alternativa era eliminada.

Durante los últimos años, muchos consumidores se han interesado por los aspectos no composicionales de la carne relacionados con la calidad, así como las características intrínsecas de los animales (especies, razas), el origen geográfico, la alimentación recibida, el manejo productivo o las estrategias post-mortem (Prieto *et al.*, 2017). Con el fin de evitar fraudes en la compra de los productos, cuando se les atribuye cierta calidad, se están desarrollando herramientas que permitan distinguir de forma rápida y exitosa estos atributos de la carne. Es por ello que la espectroscopia NIR ha sido útil para clasificar la carne según distintos criterios cuyo valor puede ser demandado por el consumidor (Honeyman *et al.*, 2006). Nuestro estudio plantea además evaluar la capacidad del NIRS para clasificar de forma correcta las muestras de las canales, en función del porcentaje de inclusión de CLM.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Animales y diseño del experimento

Un total de 120 pollitos machos (*Gallus gallus domesticus*) de un día de edad del híbrido de crecimiento medio-lento RedBro, que llegaron sexados de la granja de origen, fueron pesados individualmente (P1) y se asignaron uniformemente a los cuatro tratamientos de 15 pollitos cada tratamiento, realizándose dos repeticiones en dos épocas del año.

La base de la alimentación para todos los grupos durante el primer mes de vida, fue un pienso compuesto certificado ecológico. El grupo Control (T1)

solo tuvo el pienso como fuente de alimentación; para los tratamientos experimentales, se complementó con 5 % (T2), 10 % (T3), o 15 % (T4) de harina de larva *Calliphora sp.* (CLM) reduciendo en cada caso el porcentaje correspondiente de cantidad de pienso. La composición detallada de las diferentes dietas queda recogida en la Tabla 4.5.

Durante el primer mes de vida, los animales permanecieron en gallineros de recepción limpios y desinfectados, con una densidad de 35 pollos/m² utilizando paja de cebada como yacija y sin acceso al exterior. La temperatura en el interior se mantuvo a 35 °C la primera semana, 30 °C la segunda y 25 °C la tercera y cuarta semana, contando con iluminación natural.

A los 28 días de edad, después de retirar el alimento, los pollitos del ensayo se pesaron individualmente y 7 pollitos de cada grupo fueron transportados y sacrificados (S1) según la normativa para el sacrificio de animales de producción (RD 37/2014) (ver materiales y métodos). El resto de animales fueron trasladados a corrales con una densidad de 6 pollos/m² y con acceso al exterior durante las horas de luz. Todos ellos consumieron un mismo pienso de crecimiento-acabado (EM 2.179 Kcal/kg; PB 15,94 %); estos piensos fueron formulados de acuerdo con las Normas FEDNA 2018 para pollitos de crecimiento lento (Santomá *et al.*, 2018) y en cumplimiento con Real Decreto 833/2014 para la alimentación de animales ecológicos. El agua y el alimento fueron administrados *ad libitum*.

Se estableció el segundo sacrificio (S2) al cabo de 60 días para los pollitos restantes. En ambos sacrificios, para el análisis de calidad, se extrajo la pechuga (*Pectoralis major*) y se pesó con el esternón (Pc) y tras haberla deshuesado (Pp). Tras la extracción, las pechugas fueron refrigeradas y trasladadas al laboratorio de la Escuela Politécnica Superior de Zamora (EPSZ) donde fueron congeladas a -18 °C. Previo al análisis, las pechugas fueron descongeladas durante 24 horas a 4 °C.

Calidad de la carne

Las determinaciones se realizaron tal y como se describe en el apartado de materiales y métodos, y de forma resumida se detallan a continuación. La medición del pH se realizó en el músculo pectoral con un pHímetro CRISON pH METER BASIC 20 ®. La determinación del color de las muestras de carne se realizó usando un colorímetro (HunterLab MiniScan modelo XE Plus) con en el lado externo del músculo pectoral sin piel tras una hora de exposición al aire determinándose los parámetros L* a* b* usando un observador de 10° y el iluminante D₆₅ en el espacio CIELab. La capacidad de retención de agua (CRA) se determinó utilizando el método propuesto por Zamorano y Gambaruto (1997).

Posteriormente, la pechuga se dividió longitudinalmente en tres submuestras (A₁, A₂, A₃). La muestra A₁ se homogeneizó, y se usó para determinar los siguientes parámetros humedad (AOAC 950.46 B, (2011)), grasa (AOAC 31.4.02 (2000)) cenizas (AOAC 927.02 (2005)), perfil de ácidos grasos (Folch, 1957) y concentración de malondialdehído (MDA) mediante el método TBARS (sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico) (Buege *et al.*, 1978). La muestra A₂ se pesó y se envasó en una bolsa de plástico y se calentó hasta 75

°C centro pieza para luego ser enfriadas y tras una nueva pesada se calcularon las pérdidas por cocción. A partir de las muestras cocinadas se determinó la textura en porciones de 1x1 de sección y 3 cm de longitud utilizando para ello el Texture Analyzer TA-XT2i (Stable Micro Systems, Surrey, UK) equipado con una cuchilla de Warner-Bratzler. Se realizó un corte perpendicular a la dirección de la fibra muscular, a una velocidad de 3 mm/s, registrándose la fuerza de corte máxima (WBSF).

Se determinó el perfil lipídico por el método descrito por Folch *et al.* (1957) para la composición del pienso control y de CLM. Para la evaluación del perfil de ácidos grasos en términos de nutrición y salud humana, se utilizó la composición de ácidos grasos para calcular el índice de aterogenicidad (AI) y el índice de trombogenicidad (TI), según Ulbricht *et al.* (1991) utilizando las siguientes fórmulas:

$$AI = \frac{C12:0 + 4x C14:0 + C16:0}{\Sigma MUFA + \Sigma n-6 + \Sigma n-3}$$

$$TI = \frac{C14:0 + C16:0 + C18:0}{0,5 x \Sigma MUFA + 0,5 x \Sigma n-6 + 3 x \Sigma n-3 + \Sigma n-3 / \Sigma n-6}$$

Además, se calcularon las relaciones PUFA n-6 / PUFA n-3 y PUFA/SFA. Las concentraciones de ácidos grasos se expresaron como g /100 g de grasa.

Registro del espectro NIRS

Sobre la submuestra A₃ se registró el espectro NIR. Las submuestras fueron descongeladas a 4 °C durante 24 horas y posteriormente se llevó a cabo el registro. El equipo utilizado se encuentra en el Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Salamanca. Se utilizó un equipo Foss NIRSystem 5000 con sonda de fibra óptica de reflectancia remota de tipo Blunde (haz) regular 210/210 que tiene una placa de cerámica como referencia. La sonda está unida al equipo por 1,5 metros de fibra óptica. El procedimiento completo llevado a cabo queda descrito en el apartado de materiales y métodos, NIRS.

Análisis estadístico

Para analizar la influencia del tratamiento recibido se realizó una ANOVA de un factor. Se realizaron dos análisis para evaluar por separado la influencia del tratamiento al primer sacrificio (S1), y posteriormente un análisis del segundo sacrificio (S2) con el fin de comprobar si una vez retirada la alimentación las diferencias entre los distintos grupos de tratamiento se mantuvieron. De igual forma, con el fin de comprobar las variaciones entre ambos sacrificios (S1 vs. S2), se realizó un análisis estadístico de una vía (ANOVA) que nos permitiera determinar si se produjeron variaciones entre los distintos parámetros estudiados asociadas a la edad de sacrificio de los pollos. En ambos casos, los resultados se presentan como la media aritmética de los datos obtenidos y la desviación estándar. La significancia se estableció en $p \leq 0,05$, considerándose $0,05 < p \leq 0,10$ como una tendencia. Los datos se analizaron como un diseño

completamente al azar mediante el paquete de software SPSS (IBM SPSS Statistics 23).

Sobre los espectros NIRS obtenidos se realizó un análisis discriminante en función del grupo de alimentación (T1, T2, T3 y T4). Para el desarrollo de un modelo cualitativo se contó con un conjunto de datos espectrales procedentes 60 muestras del primer sacrificio (S1) y de cada grupo de alimentación (T1, T2, T3 y T4). Los métodos aplicados se basan en el Análisis de Componentes Principales (PCA). El PCA se describe como una descomposición de los datos espectrales preprocesados, X , en una matriz T , P y E para los componentes A . La matriz P contiene las cargas, o los espectros ocultos/estructuras comunes, la matriz T la concentración de cada una de las cargas correspondientes a cada muestra, y la matriz E contiene los valores residuales (la parte que el modelo no describe).

Existen dos formas de analizar la distancia de una muestra concreta a otra; puede medirse como la distancia hasta el centro dentro del modelo (calculada a partir de los resultados) o se pueden calcular las distancias hasta el modelo (calculadas a partir de los valores residuales). Los métodos de cualificación WinISI están diseñados para caracterizar un conjunto de espectros que representen muestras de productos que se ajusten a las especificaciones de calidad y para detectar desviaciones del conjunto de datos. En nuestro caso, el método utilizado fue el RMS X residuals. Este método permite conocer la parte de un espectro que no se puede explicar con el modelo PCA. Se calculó la raíz cuadrada de la media aritmética de los cuadrados del valor residual (RMS o media cuadrática) para obtener los valores residuales RMS. Esta medición resulta útil cuando se quiere detectar una variación espectral en el conjunto de datos de los productos buenos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio actual proporciona nuevos conocimientos sobre la inclusión de harina de insectos (CLM) en la dieta de pollos de crecimiento medio-lento criados en condiciones de libertad. El presente trabajo es el primero llevado a cabo utilizando larva de *Calliphora sp.* como parte del alimento en pollitos de crecimiento medio-lento criados en sistemas de producción ecológica (1-30 d). No debemos olvidar que, hasta la fecha, solo existe una investigación publicada en materia de calidad de la carne para evaluar la inclusión de harina de insectos en pollos que habían sido criados bajo sistemas ecológicos y que incluyó *Hermetia illucens* (HI) como insecto (Dabbou *et al.*, 2019). El resto de estudios que se muestran a continuación han sido llevados a cabo en producción industrial (broiler).

1. PRIMER SACRIFICIO

En primer lugar, para poder entender las diferencias numéricas halladas en nuestro estudio con respecto a la literatura consultada, se debe considerar la corta edad de nuestros pollos al sacrificio (30 días) frente a otros estudios disponibles. No debemos olvidar que al ser estirpes de crecimiento medio el desarrollo productivo al cabo del primer mes de vida no es completo; mientras que, en las estirpes de crecimiento rápido sobre las cuales se han realizado la

gran parte de los estudios consultados, al cabo de esta edad han alcanzado casi por completo su desarrollo y con ello las características de consumo. Esto se encuentra de acuerdo con el grado de madurez de los pollitos en función de la estirpe estudiada (Fanatico *et al.*, 2005)

a. Composición de la canal

Aunque los pollitos del tratamiento 15 % (T4) tuvieron un peso significativamente mayor ($p < 0,05$) al sacrificio (P4) con respecto al resto de grupos (T1, T2 y T3); nuestro estudio no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$) en función de la inclusión de CLM en el pienso ni para el peso del cuarto (Pc) ni para el de la pechuga (Pp) (Tabla 4.10).

Tabla 4.10. Efecto del nivel de inclusión de CLM y del sacrificio sobre el peso del cuarto y peso de la pechuga

	Control (T1)	5 % (T2)	10 % (T3)	15 % (T4)	p
Pcuarto (kg)	0,11 ± 0,02	0,10 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,11 ± 0,01	ns
Ppechuga (kg)	0,07 ± 0,02	0,05 ± 0,02	0,07 ± 0,02	0,07 ± 0,01	ns

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo

Estos resultados son consistentes con la mayoría de estudios sobre pollos de engorde y codornices, donde a pesar de haberse incrementado el peso final del animal, el peso de la pechuga, y en general la composición de las distintas partes de la canal (alas, muslos, y pechuga fundamentalmente), no se vieron afectados por la inclusión en las dietas que recibieron los pollos de *Musca domestica* (LMC), y larvas HI (Pieterse *et al.*, 2013; Bovera *et al.*, 2015; Cullere *et al.*, 2016; Biasato *et al.*, 2017, 2018; Dabbou *et al.*, 2019). Frente a esto, Hwangbo *et al.* (2009) y Pretorius (2011) encontraron pesos de la pechuga significativamente mayores en aquellos animales que recibieron harina de insecto frente al control. Hwangbo *et al.* (2019) atribuye las diferencias entre los grupos de tratamiento y control con respecto al peso de la pechuga a una mayor tasa de acumulación de proteínas con la inclusión de LMC, debido al perfil óptimo de aminoácidos esenciales de ésta (particularmente lisina) y una alta digestibilidad de las proteínas, favoreciendo finalmente un mayor desarrollo. Aunque la falta de concordancia entre los estudios consultados puede atribuirse a la composición nutricional diferente de las especies de insectos utilizadas en los estudios y con ello la variación sobre la composición (Pretorius, 2011).

No obstante, los resultados indican claramente que la inclusión de insectos en la dieta de pollos tiene el potencial de ser fuentes de alimentación, lo que produce canales y sus porciones (pechugas, alas y muslos) de tamaño similar en comparación con aquellas en las que los pollos recibieron dietas que contenían ingredientes de alimentación tradicionales (Pretorius, 2011).

b. Composición nutricional

Se estudió la composición química de las pechugas en términos de humedad cenizas, grasa y oxidabilidad de las grasas (TBARS) (Tabla 4.11). De igual forma, se llevó a cabo el análisis lipídico individual de los ácidos grasos

(Tabla 4.12) que componían la pechuga en función del tratamiento recibido, así como las fracciones lipídicas más representativas (Tabla 4.13).

La composición química de la pechuga no difirió entre los cuatro grupos experimentales, que mostraron contenidos sin diferencias significativas de humedad, proteínas, lípidos y cenizas ($p > 0,05$) (Tabla 4.11).

Tabla 4.11. Efecto del nivel de inclusión de CLM sobre la humedad (%), cenizas (%), grasa total (%) y oxidabilidad de la grasa (mg de MDA/kg carne) en la carne de pechuga (*Pectoralis major*) de los distintos tratamientos

	Control (T1)	5 %(T2)	10 %(T3)	15 %(T4)	p
Humedad	75,84 ± 1,33	75,04 ± 0,86	74,94 ± 4,37	75,18 ± 2,71	ns
Cenizas	1,15 ± 0,04	1,15 ± 0,09	1,20 ± 0,16	1,20 ± 0,10	ns
Grasa Total	1,37 ± 0,81	1,04 ± 0,56	1,67 ± 1,41	1,19 ± 0,81	ns
TBARS	0,057 ± 0,009	0,054 ± 0,003	0,054 ± 0,006	0,056 ± 0,006	ns

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo

De igual forma, autores previos (Pieterse *et al.*, 2013; Bovera *et al.*, 2015; Schiavone *et al.*, 2017; Cullere *et al.*, 2018; Dabbou *et al.*, 2019) indicaron la ausencia de efectos significativos en la composición química de la carne de ave cuando se incluía harina de insecto en la dieta. En contraste, Schiavone *et al.* (2019) publicaron que el incremento de HI en la dieta de pollos provocó una caída sobre la humedad e incrementó la proteína. Por otra parte, Ballitoc *et al.* (2013) mostró un incremento de la humedad y de la proteína en la pechuga del grupo que recibió 2 % de TM. La explicación de esta situación no es del todo clara; los autores consideraron que los resultados obtenidos, eran contradictorios con los consultados en la literatura. Por lo que reflexionaron que el efecto de la inclusión de harina de insecto sobre la composición química de la carne requiere una mayor investigación.

Así mismo, nuestro estudio mostró que un reemplazo cada vez mayor del pienso con CLM no afectó al estado oxidativo de la carne ya que las pechugas de pollo mostraron valores de TBARS similares en los cuatro grupos ($p > 0,05$). Estos resultados están en consonancia con los obtenidos por Cullere *et al.* (2019) que no encontraron variaciones sobre el estado oxidativo cuando se incluyó harina de larvas de insectos en la dieta de codornices.

En definitiva, nuestros resultados sugieren que la composición de la pechuga (en términos de humedad, cenizas y grasa) y el estado oxidativo de los pollos alimentados con insectos, es comparable con las aves alimentadas con dietas convencionales; lo cual es un aspecto clave desde el punto de vista nutricional para favorecer la comercialización de este tipo de productos. Probablemente, las aparentes diferencias en la dieta (en términos de proteína y grasa), tuvieron impacto sobre el desarrollo productivo de los animales, pero sin modificar la composición química de la canal. Este resultado prometedor refuerza el potencial de este innovador ingrediente como alimento para aves.

Perfil lipídico de la pechuga

Previamente al análisis del perfil lipídico de la carne se llevó a cabo la determinación de la composición de CLM y de los distintos piensos estudiados, tal y como se ha detallado anteriormente (Tabla 4.4 y Tabla 4.6 respectivamente, capítulo 4; sección 1).

La Tabla 4.12 muestra las diferencias observadas en términos de composición individual de ácidos grasos (FA) en la pechuga entre los grupos control (T1) y los que incluyeron CLM (T2, T3 y T4). Como se esperaba, el ácido graso predominante en la pechuga de los pollitos criados en condiciones ecológicas tanto para el grupo control como para los que habían recibido CLM, fue de ácido linoleico (C18:2 n-6c), seguido de ácido oleico (C18:1 n-9c) y ácido palmítico (C16:0) de forma independiente a la dieta recibida.

La composición individual de los ácidos grasos no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los distintos tratamientos utilizados para la mayoría de los ácidos grasos analizados. Únicamente se observaron diferencias significativas ($p < 0,001$) para el ácido palmitoleico (C16:1 n-9), para el que se observó un incremento en la concentración del mismo a medida que se aumentaba el reemplazamiento del pienso por CLM. Esto coincide con lo observado para la composición individual de ácidos grasos de CLM, donde el ácido palmitoleico, fue el tercer ácido con mayor concentración presente en la composición total de dicho insecto, tal y como se observa en la Tabla 4.6. La incorporación de CLM, provocó un incremento gradual del contenido en dicho ácido, por lo que este aumento está correlacionado de forma directa con el nivel de inclusión de CLM.

Así mismo, a pesar de no hallarse diferencias significativas ($p > 0,05$), se observó un incremento en la concentración de ácido oleico y una caída en la concentración de ácido esteárico (C18:0) en la pechuga de los grupos que habían recibido mayor inclusión de CLM en la dieta (T3 y T4) con respecto al control (T1) y el grupo T2. Estos resultados se encuentran de acuerdo con lo observado en la composición de ácidos grasos de dichos piensos (Tabla 4.6). Se observó que el ácido graso mayoritario en la composición de CLM fue el ácido oleico (Tabla 4.4), de esta forma a medida que se incrementó la concentración de CLM en el pienso, lo hizo la cantidad de dicho ácido en los distintos tratamientos (T2, T3 y T4). Así mismo, el menor contenido en ácido esteárico observado en los piensos que contenían mayor concentración de CLM queda reflejado en una menor concentración de dicho ácido en la pechuga. Estos hallazgos coinciden con lo observado por Dabbou *et al.* (2019) que relacionó una mayor presencia de oleico en la pechuga debido al mayor porcentaje de dicho ácido en los insectos utilizados (TM).

Tabla 4.12. Perfil de ácidos grasos de las pechugas (g/100 g de grasa) para cada uno de los tratamientos estudiados

	Control (T1)	5 %(T2)	10 %(T3)	15 %(T4)	p
A.Láurico (C12:0)	0,50 ± 1,07	0,29 ± 0,25	0,17 ± 0,23	0,14 ± 0,07	ns
A.Mirístico (C14:0)	0,70 ± 0,35	1,60 ± 2,48	0,83 ± 0,56	0,91 ± 0,49	ns
A.Mirístoleico (C14:1)	0,10 ± 0,04	0,55 ± 0,39	0,24 ± 0,26	0,40 ± 0,46	ns
A.Pentadecanoico (C15:0)	0,12 ± 0,03	0,11 ± 0,01	0,11 ± 0,03	0,15 ± 0,06	ns
A.Palmitico (C16:0)	21,13 ± 1,32	20,88 ± 1,33	20,02 ± 2,48	21,44 ± 0,95	ns
A.Palmitoleico (C16:1 n-9)	2,57 ^b ± 0,88	2,92 ^{bc} ± 0,85	3,94 ^{ac} ± 1,38	4,43 ^a ± 1,05	***
A.Margárico (C17:0)	0,21 ± 0,15	0,18 ± 0,00	0,17 ± 0,03	0,20 ± 0,03	ns
A.Esteárico (C18:0)	9,03 ± 2,33	9,81 ± 1,37	7,92 ± 2,10	8,96 ± 1,39	ns
A.Oleico(C18:1 n-9c)	24,47 ± 6,04	24,16 ± 4,30	27,67 ± 5,68	25,80 ± 3,32	ns
A.Elaídico (C18:1 n-9t)	2,03 ± 0,43	2,28 ± 0,49	2,24 ± 0,75	2,33 ± 0,56	ns
A.Linoleico (C18:2 n-6c)	27,95 ± 7,20	25,94 ± 3,41	27,30 ± 5,65	25,33 ± 3,12	ns
A.α-Linolénico (C18:3 n-3)	3,20 ± 0,98	2,43 ± 0,54	2,60 ± 0,94	2,33 ± 0,52	ns
A.γ-Linolénico (C18:3 n-6)	0,36 ± 0,53	0,32 ± 0,29	0,20 ± 0,08	0,19 ± 0,05	ns
A.Araquídico (C20:0)	0,12 ± 0,02	0,48 ± 0,75	0,15 ± 0,06	0,14 ± 0,05	ns
A.Eicosadienoico (C20:2 n-6)	0,16 ± 0,10	0,34 ± 0,09	0,16 ± 0,14	0,20 ± 0,14	ns
A.Eicosatetraenoico (C20:4 n-3)	0,74 ± 0,28	0,74 ± 0,28	0,56 ± 0,36	0,76 ± 1,07	ns
A.Araquidónico (20:4 n-6)	4,26 ± 1,49	5,38 ± 1,66	4,36 ± 1,25	4,88 ± 1,69	ns
DPA (C22:5 n-3)	0,42 ± 0,21	0,35 ± 0,08	0,33 ± 0,21	0,40 ± 0,19	ns
EPA (C20:5 n-3)	0,40 ± 0,22	0,45 ± 0,35	0,31 ± 0,06	0,39 ± 0,33	ns
DHA (C22:6 n-3)	0,28 ± 0,40	0,11 ± 0,11	0,21 ± 0,17	0,29 ± 0,01	ns

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05 ** p <0,01 *** p <0,001. Superíndices a, b, distintos reflejan diferencias estadísticamente significativas

En líneas generales se observó que los pollitos que habían recibido CLM en la dieta (T2, T3 y T4), tuvieron un contenido menor en la pechuga para los ácidos α-Linolénico (ALA C18:3 n-3) y γ-Linolénico (GLA C18:3 n-6) (Tabla 4.12). Estos resultados se encuentran de acuerdo con lo observado en la composición individual en ácidos grasos de los piensos experimentales (Tabla 4.6); donde a medida que se incrementó la concentración de CLM se redujo el contenido en ALA y en GLA. Así mismo, se observó un incremento en el valor del ácido mirístico (C14:0), a medida que lo hace el reemplazamiento del pienso control por CLM lo que se relaciona con el contenido de este ácido en CLM, que queda reflejado en la Tabla 4.4. Esto se encuentra de acuerdo con lo descrito por Loponte *et al.* (2018), que hallaron resultados similares, relacionando este hecho con una mayor concentración de ácido mirístico en los insectos y que posteriormente podría repercutir en la composición de la pechuga.

En esta línea, Cullere *et al.* (2017) describieron que la inclusión dietética de HI cambió enormemente las proporciones de ácidos grasos de la carne de pechuga de codorniz (incrementándose las concentraciones de C10:0, C12:0, C14:0, C16:0 y C20:0). Similares tendencias, observaron otros autores (Loponte *et al.*, 2018; Schiavone *et al.*, 2019) que describieron un incremento del contenido en ácido láurico, mirístico y palmitico (C12:0, C14:0, C16:0) en la pechuga de pollos, cuando se incluyó harina de insectos en la dieta. Dabbou *et al.* (2019) mostraron que el grupo que incluyó TM mostró porcentajes significativamente más altos de oleico y ALA (p <0,05), una tendencia (p <0,10) hacia tasas de ΣMUFA más altas y tasas de palmítico y de ácidos grasos saturados (SFA) al mismo tiempo más bajas. Dabbou *et al.* (2019) relacionaron este hecho con la

composición en ácidos grasos de la especie TM, siendo el ácido oleico el predominante en la forma larvaria.

Por otra parte, Dabbou *et al.* (2019) describieron que los lípidos de la carne de la pechuga están compuestos principalmente por triacilglicerol y fosfolípidos, siendo estos últimos ricos en PUFA n-3 de cadena muy larga, principalmente ácido eicosapentaenoico (EPA; C20:5 n-3) y ácido docosahexaenoico (DHA; C22:6 n-3), que son bien conocidos por su alta eficacia biológica en el organismo y sus efectos beneficiosos sobre la salud humana. Mientras que nuestros resultados no mostraron variaciones en el contenido en DHA y EPA, Dabbou *et al.* (2019) y Cullere *et al.* (2018) encontraron una reducción significativa del contenido de DHA en la carne de pechuga de ave alimentada con niveles crecientes de HI.

En cuanto a las distintas fracciones de ácidos grasos se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para el contenido en SFA (Tabla 4.13). Se observó un incremento significativo del contenido para los animales que habían recibido el T2 con respecto al T3. Aunque este hecho requeriría nuevos estudios para constatar la generalización del mismo, pudiendo ser anecdótico. Los valores del tratamiento control (T1) y del grupo con mayor inclusión de CLM (T4) fueron intermedios a los anteriores. A pesar de no hallarse diferencias significativas ($p > 0,05$) para el contenido en Σ MUFA, se observó una tendencia hacia que los animales pertenecientes a los grupos con mayor inclusión de CLM (T3 y T4) tuvieran una mayor concentración de estos ácidos frente a los grupos T1 y T2.

Tabla 4.13. Distintas fracciones del perfil de ácidos grasos de las pechugas (g/100 g de grasa) para cada uno de los tratamientos estudiados

	Control (T1)	5 %(T2)	10 %(T3)	15 %(T4)	p
Σ SFA	31,80 ^{ab} \pm 3,05	33,72 ^a \pm 2,79	29,96 ^b \pm 3,73	32,55 ^{ab} \pm 1,95	*
Σ MUFA	27,19 \pm 5,79	27,53 \pm 5,16	32,14 \pm 4,94	31,16 \pm 3,47	ns
Σ PUFA	40,47 \pm 7,77	37,55 \pm 4,33	37,69 \pm 4,96	35,99 \pm 3,77	ns
Σ SFA/ Σ PUFA	0,83 \pm 0,27	0,91 \pm 0,16	0,81 \pm 0,16	0,92 \pm 0,13	ns
n-3	3,75 \pm 2,13	2,48 \pm 0,96	2,82 \pm 0,88	2,69 \pm 0,74	ns
n-6	36,33 \pm 8,40	34,76 \pm 4,50	34,55 \pm 4,81	32,91 \pm 3,42	ns
n-6/n-3	11,84 \pm 4,29	13,49 \pm 4,29	13,62 \pm 5,86	13,04 \pm 3,83	*
AI	0,36 \pm 0,03	0,41 \pm 0,18	0,33 \pm 0,06	0,38 \pm 0,03	ns
TI	0,56 ^{ab} \pm 0,06	0,65 ^a \pm 0,17	0,53 ^b \pm 0,09	0,59 ^{ab} \pm 0,05	*

Los resultados se presentan como media \pm desviación estándar. ns= No significativo; * $p < 0,05$ ** $p < 0,01$ *** $p < 0,001$. Superíndices a, b, distintos reflejan diferencias estadísticamente significativas

Nuestros resultados para el contenido en Σ SFA, n-3, n-6 fueron ligeramente superiores a los obtenidos por Loponte *et al.* (2018) e inferiores para el contenido en MUFA. Sin embargo, de forma similar a nuestros resultados estos autores no hallaron variaciones sobre el contenido para los principales grupos de ácidos grasos (SFA, MUFA y PUFA) en la carne de pechuga de los distintos tratamientos dietéticos que incluyeron TM frente al control. Estos autores consideraron que, a pesar de las grandes diferencias halladas en cuanto al perfil de ácidos grasos de la composición de TM frente a la soja, (en particular en el contenido en SFA y n-6), no se observaron variaciones en la composición

de ácidos grasos de la pechuga, considerando estos resultados difíciles de explicar y de relacionar con la literatura previa

Por otra parte, el estudio publicado por Cullere *et al.* (2018) mostró un incremento en el contenido en SFA y MUFA, que aumentó desde el tratamiento control hasta los distintos porcentajes de inclusión de harina de larvas HI. Por el contrario, el nivel de PUFA disminuyó significativamente desde el tratamiento control a aquellos que incluyeron harina de larvas en la dieta, mostrando la fracción de PUFA n-3 la mayor disminución. Schiavone *et al.* (2017) observó que la suplementación de aceite de *H. illucens* en la dieta de pollos de engorde incrementó la SFA y disminuyó el PUFA en el músculo de la pechuga, pero no afectó el contenido de MUFA. Schiavone *et al.* (2019) publicó que el incremento de MUFA, principalmente se debe al alto contenido en oleico, observado como resultado de la inclusión de niveles de harina de HI en la dieta de los pollos.

Los índices aterogénico (AI) y trombogénico (TI) que correlacionan las diferentes cantidades de algunos SFA específicos, MUFA y PUFA de las series n-3 y n-6 han sido propuestos para indicar la contribución de estos ácidos grasos a la prevención o promoción de fenómenos patológicos en los seres humanos, en particular, en la probabilidad de aumentar la incidencia de fenómenos patógenos, como ateromas y / o la formación de trombos (Ulbricht *et al.*, 1991). Los valores recomendados de la AI están por debajo de 0,5. Nuestros resultados mostraron un incremento significativo ($p < 0,05$) para el valor TI en grupo T2 con respecto al T1; mientras que el AI no se vio afectado. Hay que señalar que, en ambos grupos, la IA y los valores de TI fueron bajos, y podrían considerarse saludables para los consumidores (Wood *et al.*, 2004; Bogosavljević-Bošković *et al.*, 2010). De acuerdo con nuestros resultados, se encuentra lo publicado por Loponte *et al.* (2018); quien no observó ninguna diferencia entre la carne de pechuga de pollos de engorde alimentados con harina de larva TM y aquellos alimentados con soja en términos de calidad (relación PUFA n-6/n-3, AI y TI). En contraste, Dabbou *et al.* (2018) mostraron que el grupo TM tuvo significativamente menor AI y TI en la carne de pechuga en comparación con el grupo de control.

El desacuerdo mostrado entre los diferentes estudios consultados sobre la composición de la pechuga cuando se incluyen insectos, podría indicar no solo modificaciones del perfil lipídico propias de la especie de insecto utilizada sino también determinadas por el sustrato de cría de los mismos. De hecho, como ya se ha dicho anteriormente, se ha mostrado que el contenido de extracto etéreo de las larvas puede variar mucho dependiendo del sustrato, así como del perfil de ácidos grasos (Makkar *et al.*, 2014). Por su parte, Sealey *et al.* (2011) ha descrito que la capacidad de la dieta que reciben los animales para influir sobre la composición es limitada y no es tan clara como se cree. En este caso, sin embargo, se aprecia una relación entre el perfil lipídico de la dieta y el de la carne de los pollitos.

c. Características tecnológicas

Las características tecnológicas, en términos de color, pH, CRA (jugo exprimible y pérdidas por cocción) y textura instrumental de la carne de pechuga en función de la dieta recibida quedan recogidas en la Tabla 4.14.

Color

En primer lugar, se debe considerar que los valores normales de L* se sitúan entre 50-56 para la carne de pechuga procedente de pollos de crecimiento rápido (Petracci *et al.*, 2004). No debemos olvidar que en nuestro experimento se utilizaron híbridos de crecimiento lento, siendo nuestros resultados para el valor L* similares a los publicados por otros autores cuando utilizaron estirpes similares (Castellini *et al.*, 2002; Husak *et al.*, 2008). De igual forma y considerando la precocidad y falta de madurez de los pollitos seleccionados para este estudio (30 días de vida), los valores obtenidos son ligeramente más altos para los parámetros a* y b* que los que se obtienen para otras pechugas de su misma estirpe (RedBro) sacrificados al cabo de 120 días cuando han alcanzado su desarrollo completo (ver Capítulo 2).

No se observaron variaciones para el parámetro L* en función de la dieta recibida ($p > 0,05$). Esto coincide con lo descrito por Pieterse *et al.* (2013), Leiber *et al.* (2017), Dabbou *et al.* (2019) y quienes no hallaron variaciones para L* cuando se incluyó harina de larvas en la dieta. Así mismo, Bovera *et al.* (2015) mostró que tampoco se modificó dicho parámetro en la pechuga de los animales que habían incluido TM en la dieta, ni sobre la pechuga cruda, ni posteriormente cocinada. Estos autores afirman que la ausencia de diferencias permitiría a esta carne ser perfectamente aceptada por los consumidores

Tabla 4.14. Efecto del nivel de inclusión de CLM sobre los parámetros L*, a*, b*, pH, pérdidas por cocción, jugo exprimible, y WBSF en la carne de pechuga

	Control (T1)	5 %(T2)	10 %(T3)	15 %(T4)	p
L*	58,66 ± 3,43	56,00 ± 5,30	58,09 ± 2,15	57,55 ± 3,31	ns
a*	8,23 ± 1,82	8,02 ± 2,09	8,14 ± 1,44	7,26 ± 1,20	ns
b*	17,95 ± 1,42	16,24 ± 2,49	17,90 ± 2,31	16,31 ± 2,10	ns
pH	5,54 ± 0,010	5,59 ± 0,11	5,59 ± 0,13	5,52 ± 0,13	ns
Pcocción (%)	17,06 ^a ± 5,97	10,79 ^b ± 4,22	11,38 ^b ± 5,20	8,60 ^b ± 2,00	***
Jugo (%)	12,74 ± 4,21	12,08 ± 3,87	13,11 ± 3,98	13,90 ± 4,89	ns
WBSF (N)	13,37 ± 2,43	14,25 ± 3,09	15,24 ± 4,91	16,72 ± 2,94	ns

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * $p < 0,05$ ** $p < 0,01$ *** $p < 0,001$. Superíndices a, b, distintos reflejan diferencias estadísticamente significativas

De igual forma, para los parámetros a* y b* tampoco se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los distintos grupos de tratamiento. Estos resultados, se encuentran de acuerdo con lo descrito por Hwangbo *et al.* (2009), Pieterse *et al.* (2013), Dabbou *et al.* (2019) y Cullere *et al.* (2019) quienes no encontraron variaciones para los parámetros a* y b* entre los distintos grupos. Si bien es cierto, en nuestro estudio, aunque no existieron diferencias significativas ($p > 0,05$), el valor a* mostró una reducción numérica a medida que se incrementaba la inclusión de CLM en el pienso. Resultados similares fueron

los mostrados por Pretorius (2011) que encontraron valores significativamente más bajos para el a^* y b^* , mientras que Pieterse *et al.* (2013) solo halló una reducción del valor para el grado de enrojecimiento (a^*) en los animales que habían recibido insectos en la dieta. En contraste, Schiavone *et al.* (2019) mostraron un incremento significativo del enrojecimiento de la carne (a^*) a medida que se incrementaba la concentración de HI en el pienso; estos resultados pueden deberse a una posible acumulación de pigmentos de la harina de insectos en la grasa intramuscular. Así mismo, estos autores mostraron una disminución lineal del valor b^* cuando se incrementaba la concentración de HI atribuyéndolo más que al efecto derivado de la inclusión de insectos en la dieta, a una disminución progresiva del contenido en maíz en la alimentación que recibían como consecuencia del reemplazo.

Dado que el color de la carne es un criterio por el cual los consumidores determinan la frescura y la calidad de la carne, es muy importante los distintos tratamientos no alteren este parámetro. Sin embargo, podría argumentarse que las diferencias significativas que se han descrito para el color en determinados estudios (Pretorius, 2011; Pieterse, *et al.*, 2013; Schiavone *et al.*, 2019) entre los pollos procedentes de las distintas dietas son de una magnitud tan pequeña que es discutible si un consumidor notaría alguna diferencia; aunque este argumento merecería una investigación más a fondo (Pieterse *et al.*, 2013).

pH

No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los distintos tratamientos para el valor de pH (Tabla 4.14). Coincidiendo con nuestro estudio, Daboou *et al.* (2018) Pretorius (2011), Cullere *et al.* (2019), y Schiavone *et al.* (2019), no hallaron diferencias para el valor de pH en función de la inclusión de harinas de insecto en el pienso. Frente a esto, Cullere *et al.* (2016) mostró valores de pH más bajos en las pechugas cuando se incluyó harina de larvas en la dieta de los pollos; mientras que Bovera *et al.* (2015) hallaron un incremento significativo del pH en las aves que habían incorporado TM en la dieta. Estas diferencias halladas entre los distintos estudios podrían estar condicionadas por el contenido en glucógeno en el músculo en el momento del sacrificio que se relaciona directamente con el estrés sufrido de forma previa al sacrificio. Mientras que, Dabbou *et al.* (2018) atribuyeron estas diferencias, al sistema de crianza y al genotipo utilizado en los distintos estudios.

Pérdidas por cocción y Capacidad de retención de agua (CRA)

En cuanto a las pérdidas por cocción, en el presente estudio se hallaron valores significativamente mayores ($p < 0,001$) para el grupo control con respecto a los tres grupos tratamiento (Figura 4.1). Cabe destacar que el grupo control (T1) presentó valores de humedad ligeramente superiores, aunque sin diferencias significativas con el resto de los tratamientos, y un pH ligeramente inferior a T1 y T2; sin embargo, las diferencias no son tan notables como las observadas en las pérdidas por cocción. Esto plantearía que la carne procedente de animales que han recibido CLM en la dieta tendrían una mejor aptitud para la conservación y procesamiento de la carne al verse reducido el contenido en humedad y las pérdidas por cocción.

Por otra parte, Schiavone *et al.* (2019) no hallaron diferencias entre los distintos tratamientos. Al contrario, los estudios realizados por Bovera *et al.* (2015), y Cullere *et al.* (2016) mostraron mayores valores de pérdidas por cocción en aquellos que habían incluido mayor concentración de insecto en la dieta de las aves; lo que justificaron en base a que una carne con pH cerca del punto isoeléctrico (5,2 a 5,5) de sus proteínas constitutivas que dio como resultado una menor capacidad de retención de agua, lo que produce una pérdida de cocción más intensa.

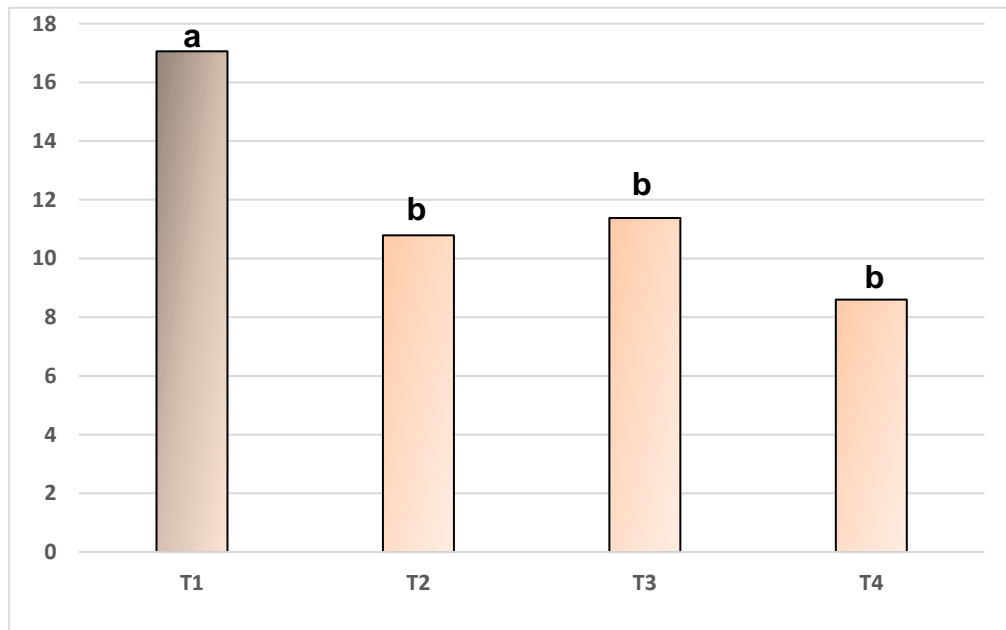


Figura 4.1. Pérdidas por cocción (%) en función del tratamiento recibido

Se observó que el pH no afectó a la capacidad de retención de agua (CRA), medida a través del % de jugo exprimible no encontrándose diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los distintos tratamientos debido a la inclusión de CLM. De forma similar, Schiavone *et al.* (2019) tampoco hallaron diferencias entre los distintos grupos para las pérdidas por goteo. Debemos considerar que en este apartado la información disponible en estudios previos para el jugo exprimible es limitada, ya que la gran mayoría de los mismos evaluaron la CRA mediante las pérdidas por goteo, que puede dar variaciones con los resultados obtenidos en nuestro estudio.

Resistencia al corte (WBSF)

Tampoco se observaron efectos significativos ($p > 0,05$) de la inclusión de CLM sobre la resistencia al corte de las pechugas (WBSF) (Tabla 4.14). Aunque, si bien es cierto, se observó un incremento numérico a medida que aumentaba la inclusión de CLM en el pienso; sin embargo, las diferencias no fueron estadísticamente significativas. En esta línea, Bovera *et al.* (2015) no hallaron diferencias significativas entre los grupos que incluyeron TM en la dieta, aunque, al igual que en nuestros resultados, la resistencia al corte fue mayor en las pechugas de los pollos que recibieron TM. De esta forma, podría plantearse que el incremento de la resistencia, unido a la disminución de las pérdidas por

cocción podría estar relacionado con algún cambio estructural en la disposición de las proteínas como consecuencia de la inclusión de estas fuentes alternativas. Sin embargo, se requieren estudios de mayor profundidad que permitan evaluar si se producen o no modificaciones sobre la conformación y composición proteica derivada de la inclusión de CLM. Por otra parte, Schiavone *et al.*, (2019) tampoco hallaron diferencias significativas entre los distintos grupos, mientras que Cullere *et al.* (2016) describieron carnes más blandas cuando los animales habían consumido harina de insecto en la dieta.

SEGUNDO SACRIFICIO

El sacrificio de los pollos al cabo de 60 días (S2) se realizó para comprobar si una vez eliminadas las dietas que habían incluido CLM durante el primer mes de vida, aparecían, se mantenían o desaparecían las diferencias significativas en los parámetros de la calidad de la carne entre los grupos de tratamiento. Así mismo, se evaluaron las posibles diferencias en los parámetros estudiados como consecuencia del incremento de la edad de los pollos al sacrificio (S1 vs. S2).

a. Composición de la canal

Como cabía pensar, se produjo un incremento en el peso al sacrificio (kg) desde el primer (S1) al segundo sacrificio (S2). De igual forma ocurrió con el peso de pechuga (Ppechuga) y del cuarto (Pcuarto). Esto se encuentra de acuerdo con lo publicado por Coban *et al.* (2014) que mostraron un incremento del peso al sacrificio y de las distintas partes de la canal (alas, pechuga, muslo y vísceras) a medida que se aumentaba la edad al sacrificio.

En cuanto al peso, tal y como ocurría en el primer sacrificio (S1) tanto en el peso del cuarto (Pcuarto) como en el de la pechuga (Ppechuga) no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los distintos grupos. Esto queda reflejado en la Tabla 4.15. Si bien es cierto, se observa que el peso de la pechuga mostró valores mayores en aquellos pollitos que habían recibido CLM (T2, T3 y T4) con respecto al control (T1).

Tabla 4.15. Peso de los cuartos delanteros (Pcuarto) y de la pechuga (Ppechuga) en función del tratamiento recibido, en el segundo sacrificio (S2)

	Control (T1)	5 %(T2)	10 %(T3)	15 %(T4)	p
Pcuarto (kg)	0,29 ± 0,02	0,35 ± 0,05	0,28 ± 0,028	0,34 ± 0,032	ns
Ppechuga (kg)	0,19 ± 0,02	0,23 ± 0,03	0,21 ± 0,020	0,24 ± 0,018	ns

Pcuarto: Peso del cuarto delantero, Ppechuga: Peso de la pechuga deshuesada.

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo

b. Composición nutricional de la pechuga

El contenido en humedad (75,23 vs. 74,21 %) y en cenizas (1,18 vs. 1,17 %) fue más bajo para los animales sacrificados al cabo de 60 días de edad (S2), aunque estas diferencias no fueron significativas ni para la humedad, ni para las cenizas ($p > 0,05$). Si bien es cierto, se podría considerar una tendencia significativa ($p=0,061$), para el parámetro de la humedad. Estos resultados se encuentran de acuerdo con lo observado por Díaz *et al.* (2010), que describieron una caída en la materia seca a medida que se incrementaba la edad en una de

las estirpes de capones de crecimiento medio estudiadas (X-44). Así mismo, estos autores encontraron un descenso en el contenido en cenizas a medida que se incrementaba la edad en dos de las estirpes comerciales de crecimiento medio y lento estudiadas (X-44 y T-44). Sin embargo, estos autores no encontraron variaciones sobre el contenido en humedad y en cenizas en otra de las estirpes de crecimiento lento (estirpe autóctona Mos) en función de la edad de sacrificio.

Nuestros resultados mostraron un incremento significativo ($p < 0,05$) para el contenido en grasa en la pechuga de los pollitos que habían sido sacrificados al cabo de 60 días (S2) frente a aquellos que se sacrificaron durante el primer mes de vida (S1) (S1 vs. S2; 1,31 vs. 1,86), mientras que el estado oxidativo (TBARS) no se vio afectado de forma significativa ($p > 0,05$) por la edad de sacrificio de los pollitos (S1 vs. S2; 0,055 vs. 0,057 mg MDA/kg). Nuestros hallazgos se encuentran de acuerdo con lo descrito por Fanatico *et al.* (2005), que mostraron un incremento del contenido en grasa de la pechuga a medida que aumentaban los días de crianza y un descenso en el contenido en humedad. Por otra parte, Díaz *et al.* (2010) hallaron un incremento en el contenido en grasa en la estirpe Mos (crecimiento lento pura) a medida que se incrementaban los días al sacrificio, mientras que no hallaron variaciones a medida que se incrementaba la edad en otras estirpes comerciales de crecimiento lento ni medio. Estos autores consideraron que, probablemente, las variaciones halladas para el contenido en grasa en función de la edad, son inherentes de la raza estudiada (pura o comercial) más que el tipo de crecimiento de la misma (lento o medio).

Para la composición química (Tabla 4.16) no se observaron diferencias entre los distintos grupos en función del tratamiento que habían recibido durante el primer mes de vida, lo que coincide con lo explicado en el primer sacrificio (S1). Cabe destacar, que, aunque no fue estadísticamente significativo y la alimentación fue idéntica para todos los grupos durante el segundo mes; los animales en los que se había incluido CLM en su dieta en el primer mes de vida (T2, T3 y T4), presentaron para el segundo sacrificio (S2) valores más altos de grasa que el control (T1); en especial, aquellos que habían recibido mayor inclusión de CLM en el pienso (T4) durante el primer mes de vida.

Tabla 4.16. Efecto del nivel de inclusión CLM sobre la humedad (%), cenizas (%), grasa total (%) y oxidabilidad de la grasa (mg de MDA/kg carne) en la pechuga de los pollos procedentes del segundo sacrificio (S2)

	Control (T1)	5 %(T2)	10 %(T3)	15 %(T4)	p
Humedad	73,00 ± 0,88	74,01 ± 0,380	75,49 ± 1,009	74,02 ± 0,736	ns
Cenizas	1,18 ± 0,02	1,12 ± 0,009	1,16 ± 0,021	1,18 ± 0,025	ns
Grasa Total	1,55 ± 0,16	1,97 ± 0,667	1,64 ± 0,263	2,38 ± 0,417	ns
TBARS	0,058 ± 0,005	0,060 ± 0,0048	0,058 ± 0,0039	0,056 ± 0,0027	ns

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo.

Perfil lipídico

La Tabla 4.17 muestra la composición en ácidos grasos de forma individual de las pechugas analizadas procedentes de los pollitos del segundo

sacrificio (S2). Al igual que ocurrió en el primer sacrificio el orden de tendencia para los ácidos grasos principales se mantuvieron. El ácido graso predominante en la pechuga de los pollitos del segundo sacrificio (S2) tanto para el grupo control (T1) como para los que habían recibido CLM (T2, T3 y T4) durante el primer mes de vida, fueron el ácido linoleico (C18:2 n-6c), seguido de ácido oleico (C18:1 n-9c) y ácido palmítico (C16:0).

Tabla 4.17. Composición individual del perfil de ácidos grasos de las pechugas (g/100 g de grasa) para cada uno de los tratamientos estudiados en el segundo sacrificio (S2)

	Control (T1)	5 %(T2)	10 %(T3)	15 %(T4)	p
A.Láurico (C12:0)	0,21 ± 0,04	0,11 ± 0,02	0,15 ± 0,03	0,18 ± 0,04	ns
A.Mirístico (C14:0)	0,91 ± 0,12	0,87 ± 0,10	0,63 ± 0,07	0,86 ± 0,10	ns
A.Mirístoleico (C14:1)	0,26 ± 0,04	0,35 ± 0,12	0,47 ± 0,17	0,32 ± 0,09	ns
A.Pentadecanoico (C15:0)	0,15 ± 0,00	0,13 ± 0,04	0,12 ± 0,01	0,14 ± 0,03	ns
A.Palmitico (C16:0)	22,74 ± 0,68	21,95 ± 0,44	22,71 ± 0,54	21,63 ± 0,55	ns
A.Palmitoleico (C16:1 n-9)	3,13 ± 0,64	3,97 ± 0,59	2,43 ± 0,35	4,19 ± 0,53	ns
A.Margárico (C17:0)	0,20 ± 0,04	0,15 ± 0,01	0,22 ± 0,03	0,22 ± 0,05	ns
A.Esteárico (C18:0)	8,42 ± 1,20	8,13 ± 0,77	9,84 ± 0,63	7,38 ± 1,00	ns
A.Oleico(C18:1 n-9c)	23,56 ± 1,54	27,12 ± 1,48	24,64 ± 2,21	24,79 ± 1,10	ns
A.Elaídico (C18:1 n-9t)	2,03 ^b ± 0,08	2,28 ^{ab} ± 0,06	2,20 ^{ab} ± 0,08	2,45 ^a ± 0,13	*
A.Linoleico (C18:2 n-6c)	28,07 ± 1,12	25,53 ± 1,05	25,26 ± 0,79	27,66 ± 1,37	ns
A.α-Linolénico (C18:3 n-3)	1,07 ± 0,13	1,64 ± 0,28	1,07 ± 0,13	1,21 ± 0,15	ns
A.γ-Linolénico (C18:3 n-6)	0,17 ± 0,06	0,20 ± 0,09	0,14 ± 0,04	0,39 ± 0,13	ns
A.Araquídico (C20:0)	0,22 ± 0,04	0,17 ± 0,04	1,09 ± 0,52	0,34 ± 0,29	ns
A.Eicosadienoico (C20:2)	0,73 ± 0,52	0,26 ± 0,01	0,21 ± 0,07	0,19 ± 0,01	ns
A.Araquidónico (C20:4 n-6)	6,73 ± 0,84	5,48 ± 0,58	6,90 ± 0,84	6,45 ± 0,46	ns
EPA (C20:5 n-3)	1,10 ± 0,35	1,70 ± 1,42	0,64 ± 0,02	1,03 ± 0,35	ns
DHA (C22:6 n-3)	0,15 ± 0,01	0,35 ± 0,09	0,94 ± 0,34	0,22 ± 0,10	ns

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05 Superíndices a, b, distintos reflejan diferencias estadísticamente significativas

En líneas generales no se observaron diferencias significativas (p >0,05) para el contenido en los principales ácidos grasos entre las pechugas procedentes de ambos sacrificios; salvo para el contenido en ácido α-Linolénico (C18:3 n-3 ALA S1 vs. S2; 2,31 vs. 1,10), esteárico (S1 vs. S2; 9,81 vs. 7,00) que se vieron reducidos de forma significativa en el segundo sacrificio. En contraste, Dal Bosco *et al.* (2014) observó que la proporción de ALA sólo se veía incrementado en una de las estirpes estudiadas a medida que se aumentaba la edad de sacrificio. El contenido en ácido oleico (S1 vs. S2; 26,04 vs. 25,08) fue en líneas generales ligeramente inferior, aunque no de forma significativa (p >0,05) en los animales procedentes del segundo sacrificio (S2). Esto se encuentra de acuerdo con lo descrito por Popova *et al.* (2016) quienes además encontraron un incremento en el contenido en DPA (C22:5 n-3) a medida que se aumentaba la edad al sacrificio. Estos autores relacionaron este hecho con una menor actividad de la enzima desaturasa. Por otra parte, Dal Bosco *et al.* (2014) no observaron cambios en el contenido en ácido oleico en la pechuga a medida que se incrementaba la edad. Popova *et al.* (2016) hallaron un menor contenido en ácido palmítico y mirístico (C14:0) en la pechuga de los pollos que tuvieron una mayor edad de sacrificio, mientras que se incrementó el ácido esteárico (C18:0), contrariamente a lo observado en este trabajo

No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los distintos ácidos grasos estudiados para el segundo sacrificio (S2) entre los pollitos que recibieron diferentes dietas durante el primer mes de vida; con la excepción del ácido elaídico (C18:1 n-9t) que se vio incrementado significativamente ($p < 0,05$) en los pollitos que recibieron durante el primer mes mayor proporción de CLM en la dieta (T4) con respecto al grupo control (T1), mientras que los pollitos pertenecientes a los grupos T2 y T3 mostraron valores intermedios. En este caso, las causas por las cuales se produjeron estas diferencias no pueden correlacionarse tan directamente con la dieta recibida ya que todos los pollitos procedentes del segundo sacrificio (S2) recibieron un mismo pienso de crecimiento.

Las diferencias significativas halladas en el primer sacrificio para el ácido palmitoleico entre los distintos grupos, no se observaron en el segundo sacrificio (S2). No obstante, se registraron valores de ácido palmitoleico mayores en el grupo que consumió mayor proporción de CLM durante el primer mes de vida (T4). Así mismo, al igual que ocurría en el primer sacrificio (S1), el contenido en ácido oleico fue mayor en aquellos animales que recibieron CLM en la dieta durante el primer mes (T2, T3 y T4), mientras que las tendencias observadas para el ácido esteárico entre los distintos grupos en el S1, parecieron verse eliminadas en el S2.

En líneas generales, las fracciones lipídicas principales (Σ SFA, Σ MUFA, Σ PUFA, Σ SFA/ Σ PUFA) no mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ambos sacrificios. Sin embargo, se observó un valor numéricamente mayor para el contenido en Σ PUFA (S1 vs. S2; 37,95 vs. 38,08) y menor en el contenido en Σ MUFA (S1 vs. S2; 29,66 vs. 28,83) en los animales procedentes del segundo sacrificio (S2). Estos hallazgos se encuentran parcialmente de acuerdo con lo descrito por Popova *et al.* (2016) que mostraron que la edad al sacrificio de dos estirpes de crecimiento lento incrementó de forma significativa el contenido en PUFA en el muslo, sin alterar el contenido en SFA, mientras que redujo de forma significativa el contenido en MUFA de la pechuga y el muslo debido a la disminución de los niveles de ácido oleico señalada anteriormente. De igual forma, Dal Bosco *et al.* (2014) mostraron mayores contenidos de PUFA total y los derivados de cadena larga en pollos de mayor edad. Por otro lado, Michalczyk *et al.* (2014) observaron cambios en los PUFA con la edad, dependiendo del genotipo, ya que, en los pollos de crecimiento rápido y medio, el PUFA total aumentó de 5 a 7 semanas, mientras que en una línea de crecimiento lento no se presentaron cambios.

Nuestros resultados mostraron una reducción significativa ($p < 0,001$) del contenido de ácidos grasos n-3 a medida que se incrementaba la edad al sacrificio (S1 vs. S2; 2,91 vs. 1,95), mientras que, el contenido en ácidos grasos n-6 no se vio afectado significativamente ($p > 0,05$) por la edad al sacrificio, aunque se observaron valores mayores en aquellos animales cuya edad al sacrificio fue mayor (S2) (S1 vs. S2; 34,69 vs. 35,79). Esto está en desacuerdo con lo mostrado por Dal Bosco *et al.* (2014) que encontraron un incremento del contenido en n-3 cuando se aumentaban los días de sacrificio desde 70 a 80. Así mismo, como consecuencia de la reducción del contenido en n-3 para los animales procedentes del segundo sacrificio (S2), se observó un incremento significativo ($p < 0,05$) del ratio n-6/n-3 para los animales procedentes del

segundo sacrificio (S2). En contraste, Popova *et al.* (2016) hallaron un descenso en el ratio n-6/n-3 del muslo a medida que incrementaban la edad, lo que asociaron con un rasgo positivo debido especialmente al aumento del contenido en PUFA n-3, que es deseable en alimentos de origen animal.

Los valores del ratio n-6/n-3 fueron valores relativamente más altos que los recomendados (Popova *et al.*, 2016). Podría sugerirse que valores tan altos de esta relación están asociados con el tipo de la crianza de las aves y con la dieta recibida. El alto contenido de PUFA n-6 en el pienso consumido, principalmente linoleico, comparado con el consumo de hierba cuando esta se encuentra disponible, donde el ácido α -Linolénico es predominante podría ser responsable de las diferencias halladas. Por lo que este hallazgo podría verse modificado positivamente ante la disponibilidad de pastos para los pollos. Sin embargo, frente a los hallazgos de estos autores, Dal Bosco *et al.* (2012) informaron de un rango de valores de n-6/n-3 más amplio, que van desde 6,23 a 17,9 en diferentes genotipos de pollos criados bajo un sistema ecológico

Nuestros resultados para el valor AI y TI para los pollitos de mayor edad (S2) fueron similares a los obtenidos para el primer sacrificio (S1) no observándose diferencias significativas ($p > 0,05$) para estos parámetros entre ambos sacrificios. Ambos valores se encuentran dentro de las recomendaciones establecidas ($< 0,05$). Por otra parte, Popova *et al.* (2016) hallaron una caída sobre los valores de AI y TI a medida que se incrementaba la edad de sacrificio.

Las principales fracciones lipídicas (Σ SFA, Σ PUFA, Σ MUFA, Σ SFA/ Σ PUFA) no mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) para las pechugas del segundo sacrificio (S2) en función de la dieta que habían recibido en el primer mes de vida (Tabla 4.18). Las variaciones observadas para el primer sacrificio (S1) con respecto al contenido de SFA se vieron eliminadas en el segundo sacrificio (S2).

Tabla 4.18. Principales fracciones del perfil de ácidos grasos de las pechugas (g/100 g de grasa) para cada uno de los tratamientos estudiados en el segundo sacrificio (S2)

	Control (T1)	5 %(T2)	10 %(T3)	15 %(T4)	p
Σ SFA	33,21 \pm 4,59	32,00 \pm 2,87	34,41 \pm 3,00	30,85 \pm 3,98	ns
Σ MUFA	26,93 \pm 5,84	31,49 \pm 4,12	27,49 \pm 8,38	29,40 \pm 4,21	ns
Σ PUFA	39,61 \pm 3,65	36,29 \pm 5,18	37,50 \pm 5,90	39,29 \pm 4,23	ns
Σ SFA/ Σ PUFA	0,85 \pm 0,16	0,90 \pm 0,17	0,93 \pm 0,12	0,80 \pm 0,17	ns
Σ n-3	2,20 \pm 0,76	2,44 \pm 1,33	1,61 \pm 0,31	1,64 \pm 0,49	ns
Σ n-6	37,29 \pm 3,17	33,64 \pm 4,61	35,12 \pm 5,20	37,50 \pm 4,02	ns
Σ n-6/ Σ n-3	18,91 ^{ab} \pm 18,91	16,37 ^b \pm 7,03	22,40 ^{ab} \pm 5,20	24,99 ^a \pm 8,41	*
AI	0,40 \pm 0,05	0,38 \pm 0,02	0,40 \pm 0,04	0,37 \pm 0,03	ns
TI	0,56 \pm 0,10	0,56 \pm 0,10	0,57 \pm 0,06	0,47 \pm 0,07	ns

Los resultados se presentan como media \pm desviación estándar. ns= No significativo; * $p < 0,05$ Superíndices a, b, distintos reflejan diferencias estadísticamente significativas

El resto de parámetros estudiados (n-3, n-6, AI y TI) no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) para el segundo sacrificio (S2) en función de los distintos tratamientos recibidos durante el primer mes de vida. Sin embargo, el ratio n-6/n-3 se vio significativamente afectado ($p < 0,05$) (Tabla 4.18). Los pollitos que recibieron durante el primer mes de vida mayor concentración de

CLM (T4) tuvieron un valor significativamente más alto. Parece ser, que, observando los resultados, estas variaciones no se relacionarían con los distintos porcentajes de inclusión de CLM durante el primer mes de vida.

c. Características tecnológicas

Los parámetros tecnológicos de la pechuga de los pollitos procedentes del segundo sacrificio (S2) en función del tratamiento recibido en el primer mes de vida en términos de color, pH, CRA (pérdidas por cocción y jugo exprimible) y dureza instrumental quedan descritos en la Tabla 4.19

Color

Se observó un incremento de los valores obtenidos para el parámetro L^* de los animales cuya edad fue mayor (S2) (S1 vs. S2. 57,52 vs. 59,61), aunque estas diferencias no fueron significativas ($p > 0,05$). En contraste, autores previos (Fanatico *et al.*, 2005, Díaz *et al.*, 2010) describieron un valor de L^* menor a medida que se incrementaba la edad de vida de los pollos. Nuestros resultados no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) para el parámetro a^* entre ambos sacrificios (S1 vs. S2 7,90 vs. 8,05), mientras que el parámetro b^* mostró una reducción significativa ($p < 0,05$) en los animales pertenecientes al segundo sacrificio (S2) con respecto a aquellos de menor edad (S1 vs. S2 17,05 vs. 15,43). Por otra parte, Berri *et al.* (2007) describieron que el incremento en el área de las fibras musculares a medida que aumenta la edad de los pollos provoca un descenso en el valor L^* mientras que a^* y b^* se mantienen constantes. Estos resultados difieren parcialmente de los mostrados por Coban *et al.* (2014) que mostraron una caída sobre los valores L^* , pero también sobre a^* y b^* en los pollos más viejos. Se considera que en los pollos de engorde más viejos, los valores a^* disminuyen como resultado de una intensidad de color reducida que surge de un aumento en el ancho del músculo y una disminución paralela en la densidad capilar. En contraste, Fanatico *et al.* (2005) describieron que a medida que se incrementa la edad la carne es de color más rojo (a^*) debido a mayor contenido en mioglobina. Lonergan *et al.* (2003) han atribuido las diferencias halladas para el valor a^* entre los distintos estudios a las diferencias en la proporción de fibras en función de la estirpe estudiado.

No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) para los parámetros L^* y b^* para el segundo sacrificio (S2) en función de la dieta recibida durante el primer mes de vida (Tabla 4.19). Cabe destacar que el grado de enrojecimiento (a^*) mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los distintos grupos de tratamiento; siendo el valor más bajo para el grupo T3 y el mayor para el T2, mientras que el resto de grupos (T1 y T4) mostraron valores intermedios. El incremento del valor a^* podría ser independiente del consumo de CLM, pudiendo estar relacionado con una mayor actividad locomotora de los animales del T3 (Fanatico *et al.*, 2005).

Tabla 4.19. Efecto del nivel de inclusión de CLM sobre los parámetros L*, a*, b*, pH, pérdidas por cocción, jugo exprimible, y WBSF en el segundo sacrificio (S2)

	Control (T1)	5 %(T2)	10 %(T3)	15 %(T4)	p
L*	59,42 ± 1,76	56,57 ± 1,93	63,01 ± 1,35	57,66 ± 2,24	ns
a*	8,36 ^{ab} ± 0,54	9,18 ^a ± 0,62	6,87 ^b ± 0,42	8,41 ^{ab} ± 0,69	*
b*	15,42 ± 0,91	15,18 ± 0,64	15,78 ± 0,96	15,15 ± 1,16	ns
pH	5,62 ± 0,03	5,57 ± 0,03	5,60 ± 0,02	5,57 ± 0,01	ns
Pcocción (%)	12,26 ± 1,51	8,59 ± 1,25	13,06 ± 1,05	11,11 ± 1,15	ns
Jugo (%)	13,72 ± 1,62	14,40 ± 2,22	16,83 ± 1,70	15,66 ± 1,33	ns
WBSF (N)	30,66 ± 3,44	21,47 ± 2,33	31,54 ± 3,33	30,13 ± 4,63	ns

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. ns= No significativo; * p <0,05 Superíndices a, b, distintos reflejan diferencias estadísticamente significativas

pH

No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) para el valor de pH entre ambos sacrificios. En contraste, Díaz *et al.* (2010) y Coban *et al.* (2014) hallaron un descenso en el pH a medida que se incrementaban los días al sacrificio. En general, estos autores describieron que la carne de animales más viejos exhibe valores de pH más bajos que los de los animales más jóvenes, lo que se atribuye a un mayor contenido de glucógeno muscular en los primeros debido a los cambios en la proporción de las fibras musculares que son responsables de diferentes patrones de metabolismo muscular (Díaz *et al.*, 2010). No obstante, Díaz *et al.* (2010) describieron que la concentración de glucógeno puede verse afectada también por el estrés pudiendo ser atribuible a este hecho las diferencias halladas para el valor numérico entre los estudios consultados.

No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) para el pH entre los pollitos en el segundo sacrificio (S2) (Tabla 4.19). Aunque, los valores de pH para el segundo sacrificio (S2) fueron ligeramente más bajos para los pollitos que habían recibido CLM durante el primer mes de vida (T2, T3 y T4).

Jugo exprimible y Pérdidas por cocción

No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) para las pérdidas por cocción entre los dos muestreos (S1 vs. S2). Para el jugo exprimible se observó un incremento significativo ($p < 0,05$) de dicho valor para los animales cuya edad de sacrificio fue mayor (S2) (15,29 vs. 12,97 %). Coban *et al.* (2014) observaron un descenso en las pérdidas por goteo a medida que se aumentaba la edad al sacrificio; relacionándolo con una mayor sección de las fibras musculares y con el menor valor de L*. Por otra parte, Díaz *et al.* (2010) observaron que la CRA fue menor en animales más jóvenes, salvo para una de las estirpes estudiadas (Moss). De igual forma, estos autores describieron que a medida que se incrementa la edad de los capones al sacrificio, se producen menores pérdidas por goteo, mientras que las pérdidas por cocción no se encuentran afectadas por la edad de sacrificio. Sin embargo, estos autores concluyeron que las causas de las variaciones halladas en función de la edad de sacrificio no se encuentran claras y se requieren estudios posteriores.

No se observaron diferencias significativas para el jugo exprimible y las pérdidas por cocción ($p > 0,05$) entre los distintos pollitos para el segundo sacrificio (S2) en función del tratamiento que habían recibido durante el primer mes de vida (Tabla 4.19). Por lo tanto, las diferencias halladas durante el primer sacrificio (S1) con respecto a las pérdidas por cocción no se observaron para este segundo sacrificio (S2) al retirar las dietas experimentales. Tampoco se aprecia una tendencia clara en estos parámetros a medida que aumenta el % de CLM.

Resistencia al corte (WBSF)

La resistencia al corte (WBSF) hallada en el segundo sacrificio (S2) se incrementó de forma significativa ($p < 0,001$) con respecto a los animales cuya edad de sacrificio fue menor (S1) (S1 vs. S2 14,95 vs. 29,12 N). Esto coincide con lo descrito por Díaz *et al.* (2010) que mostraron un incremento de WBSF a medida que aumentaban los días al sacrificio. Se ha relacionado que las aves son más viejas existe una mayor reticulación del colágeno, causando una mayor dureza en la pechuga de estos animales (Fletcher *et al.*, 2002).

No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) para el valor de WBSF entre la pechuga de los pollos procedentes del segundo sacrificio (S2) (Tabla 4.19).

Finalmente, los resultados observados en nuestro estudio muestran que la inclusión de harina durante el primer mes de vida no tuvo una repercusión notable sobre la calidad de los pollos que la habían consumido, independientemente del porcentaje de inclusión de la misma.

d. NIRS

La discriminación se realizó sobre el conjunto de datos combinados de 60 muestras. Estos consistieron en 60 muestras de cada uno de los diferentes grupos de alimentación (T1, T2, T3 y T4) pertenecientes al primer sacrificio (S1).

El método Discriminate RSM x-residual permitió clasificar de forma correcta el 100 % de las muestras control (T1), el 85,71 % de las muestras del grupo 5 % (T2), el 88,8 % del grupo 10 % (T3) y el 91,66% del grupo 15 % (T4). Estos resultados quedan reflejados en la Figura 4.1 donde se observa que la línea correspondiente a las muestras procedentes de los pollitos control (T1) es la que aparentemente puede diferenciarse casi con totalidad del resto, lo que confirma la alta capacidad del sistema (100 %) para clasificar estas muestras de forma correcta.

Nuestros resultados muestran que la capacidad del método para discriminar de forma correcta se incrementó desde el grupo T1 hasta el grupo T4, siendo mayor a medida que lo hacía la inclusión de CLM. Se obtuvo, que en total el porcentaje de acierto del sistema para las muestras en función del tratamiento recibido fue de un 92,1 %

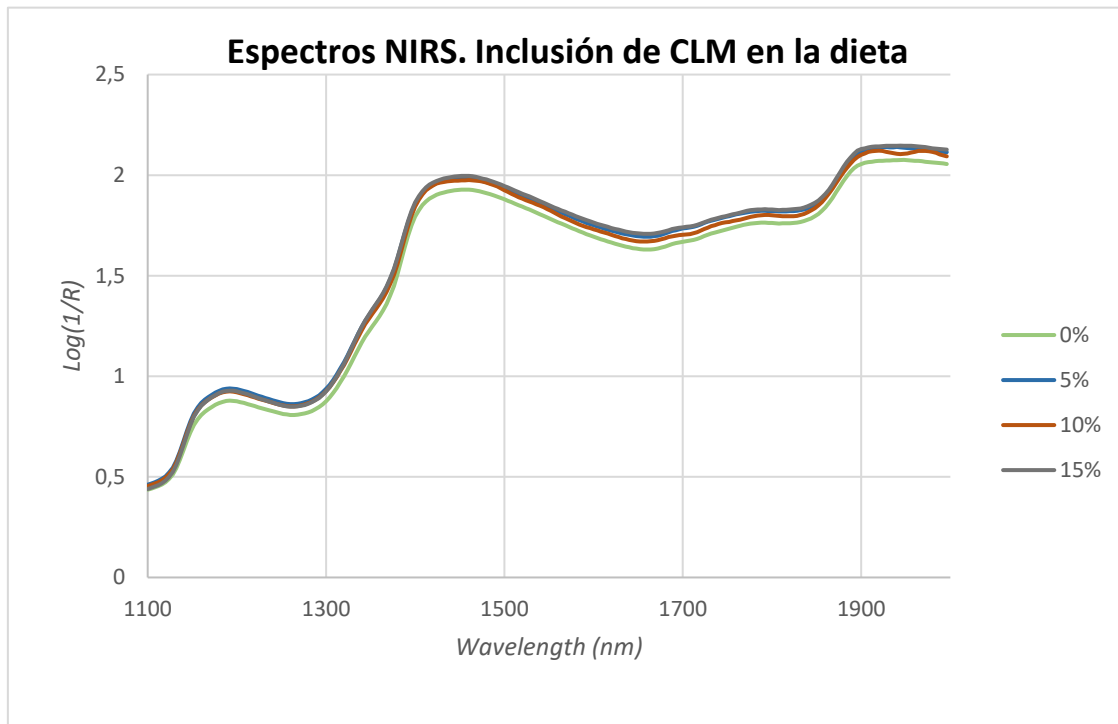


Figura 4.1. Espectros del registro NIRS de las pechugas en función de la inclusión de CLM en la dieta de los pollos durante el primer mes de vida

Estos hallazgos se encuentran de acuerdo con los hallados por Zamora-Rojas *et al.* (2012) que describieron que el sistema NIR fue capaz de clasificar más del 90 % de las canales de cerdo de forma correcta en función de la alimentación recibida. Ripoll *et al.* (2018) describieron que la espectroscopia NIR fue capaz de clasificar de forma exitosa la carne de cordero procedente de tres sistemas de alimentación diferentes. Resultados similares fueron los hallados por Berzaghi *et al.* (2004) quien mostró que el rendimiento de los modelos discriminantes tuvo una clasificación correcta del 100 % entre los pollos que habían recibido la dieta control y aquellos que habían recibido las dietas enriquecidas

Los resultados derivados de este estudio, plantean que, debido a su velocidad de análisis y bajos costes de operación, el sistema NIRS podría utilizarse para el control de la carne de ave para discriminar entre distintos tratamientos dietéticos.

CONCLUSIONES

Los pollitos sacrificados durante el primer mes de vida (S1) que recibieron mayor cantidad de CLM en el pienso (T4) mostraron un valor significativamente más bajo ($p < 0,05$) de pérdidas por cocción y mayor contenido en ácido palmitoleico ($p < 0,01$) en la pechuga. El resto de parámetros de calidad estudiados no se vieron significativamente afectados durante el primer sacrificio por la inclusión de CLM en el pienso. Así mismo, la retirada de la harina de insecto (CLM) al cabo de 30 días, y su sustitución por un mismo pienso de crecimiento durante 30 días más para los pollos restantes no modificó de forma

sustancial la calidad de la carne (S2) encontrándose únicamente diferencias significativas ($p < 0,05$) para el parámetro a^* , el contenido en ácido eláidico y el ratio n-6/n-3. Las diferencias en calidad de la carne halladas en el primer sacrificio (S1) se vieron eliminadas para el segundo sacrificio (S2).

Por lo que se puede concluir que el reemplazo parcial con harina de larvas de *Calliphora sp.* en la dieta de arranque de pollos de crecimiento medio-lento criados en sistemas ecológicos (hasta un 15 % de nivel de inclusión) es técnicamente viable y proporciona carne de calidad comparable, en líneas generales, a la de pollitos alimentados con una dieta convencional.

El sistema NIRS clasificó de forma correcta el 92,1 % de las muestras en función de la dieta recibida, lo que hace de este sistema un instrumento potencialmente útil para diferenciar la carne en función de la dieta recibida

VI. CONCLUSIONES GENERALES

Los productores de pollo ecológico presentan diferencias con respecto a la producción industrial. Las principales engloban las **condiciones ambientales, la estirpe utilizada y el alimento recibido**.

1. Condiciones ambientales

- a. La disminución de la densidad (pollos/m²) por debajo de lo establecido en el Reglamento para la producción ecológica de pollos, mejoró de forma significativa el peso final de los pollos de crecimiento medio-lento en la fase inicial de crecimiento (1-30 d), la GMD, el consumo y el IC.
- b. El descenso de la temperatura (<25 °C) durante la primera semana de vida de los pollitos y la posterior recuperación de las condiciones adecuadas, repercute negativamente sobre el peso al final de la fase de inicial de crecimiento (1-30 d) la GMD, la mortalidad, el consumo y el IC.

2. Periodo de crianza y estirpe

- a. El uso de estirpes con el mismo tipo de crecimiento medio-lento (ColorYield y RedBro) en producción ecológica no influyó de forma significativa sobre el peso, GMD, IC total, aunque el consumo total de pienso se incrementó en la estirpe ColorYield.
- b. El periodo de crianza (entendido como condiciones climáticas), influyó de forma significativa incrementando la GMD, el peso, el IC y el consumo en los animales que son criados con temperaturas medias más frías. Por ello, en términos de rentabilidad económica se recomendaría criar mayor cantidad de pollitos en condiciones ambientales más frías.
- c. La interacción entre el genotipo y las condiciones ambientales no tuvo un efecto significativo sobre el desarrollo productivo de los animales.
- d. El peso del primer día del pollito (p1) tiene un efecto significativo durante el primer mes de vida (p30), siendo menor en aquellos pollitos que inicialmente tuvieron menos peso. Sin embargo, a partir de esta pesada (p30), el crecimiento compensatorio de estos animales cuando las condiciones de crianza son adecuadas, permite a los pollitos sobreponerse alcanzando al sacrificio rendimientos productivos similares a los que tuvieron un peso inicialmente mayor.
- e. Se establecieron modelos matemáticos para predecir el peso de los animales al sacrificio (p120) en función de un peso determinado (p15 y p45 respectivamente) para cada periodo de crianza (P1 y P2). Sin embargo, el valor de R obtenido fue bajo; por lo que se recurrió a modelos RTA, que permitieran una mayor fiabilidad en el cálculo del peso al sacrificio (p120), el consumo y el IC total en función del periodo de crianza.
- f. Los pollitos pertenecientes a la estirpe RedBro mostraron un contenido significativamente mayor en humedad y menor de cenizas en la pechuga, sin afectarse el resto de parámetros, mientras que los animales pertenecientes a la estirpe ColorYield mostraron un incremento significativo en el ácido docosadienoico.

La pechuga procedente de periodos más cálidos (P2) mostró un contenido significativamente inferior en humedad, e incrementó el valor de pH y enrojecimiento (a^*). El periodo cálido (P2) disminuyó de forma significativa el contenido en SFA, e incrementó el contenido en PUFA y n-6 en la pechuga. Aunque, finalmente, la interacción entre el genotipo y el periodo de crianza no modificó de forma sustancial la calidad de la carne, en términos de peso de la pechuga, composición química, características tecnológicas y perfil de ácidos grasos.

- g. El sistema NIRS no fue capaz de clasificar de forma correcta las muestras de carne de pollo en función de los factores periodo de crianza y genotipo, lo cual reafirma la gran similitud hallada en los análisis de calidad sobre la pechuga de los pollitos procedentes de los distintos sistemas.

3. Alimentación

- a. La inclusión de harina de larva *Calliphora sp.* durante el primer mes de vida, provocó un incremento significativo del peso y de la GMD en los animales que habían consumido mayor proporción de CLM en el pienso. Se observó una caída en el IC y un consumo menor en aquellos animales que habían tenido una mayor inclusión de CLM en el pienso.
- b. La inclusión de CLM en la dieta de pollos de crecimiento medio-lento criados en sistemas ecológicos (hasta un 15 % de nivel de inclusión) durante el primer mes de vida, proporcionó carne de calidad comparable a la de pollitos alimentados con una dieta convencional. Así mismo, la retirada de la harina de insecto (CLM) al cabo de 30 días, y su sustitución por un mismo pienso de crecimiento durante 30 días más para los pollos restantes no modificó de forma sustancial la calidad de la carne encontrándose únicamente diferencias significativas para el parámetro a^* , el contenido en ácido elaídico y el ratio n-6/n-3.
- c. El sistema NIRS clasificó de forma correcta el 92,1 % de las muestras procedentes del primer sacrificio en función de la dieta recibida.

VII. RESUMEN

La preocupación por el medio ambiente y el bienestar animal, se ha visto incrementada durante los últimos años, lo que ha resultado beneficioso para el sector de la producción ecológica. La ausencia de connotaciones religiosas de la carne de pollo, unido a la facilidad de preparación, el bajo coste y las imágenes negativas sobre los sistemas de producción de pollo industrial mostradas en los medios de comunicación ha hecho de este alimento la vía de entrada para muchos hogares en el mercado ecológico (Marangoni *et al.*, 2015). La producción ecológica difiere en gran medida de la producción industrial, entre los principales factores diferenciales se encuentran la alimentación, las condiciones de crianza, y la estirpe utilizada. La presente tesis doctoral tiene como objetivo evaluar el efecto de estas variables sobre la producción y la calidad de la carne de pollos ecológicos. Así mismo, durante los últimos años numerosos consumidores se han interesado por aspectos no composicionales de la carne relacionados con la calidad, así como las características intrínsecas de los animales (especies, razas), el origen geográfico, la alimentación recibida, el manejo productivo o las estrategias post-mortem (Prieto *et al.*, 2017). La espectroscopia NIR ha sido útil para clasificar la carne según distintos criterios cuyo valor puede ser demandado por el consumidor (Honeyman *et al.*, 2006). Es por ello, que en nuestro estudio se utilizó la tecnología NIRS para clasificar las muestras de carne en función de los factores estudiados (estirpe, periodo de crianza y alimentación recibida). El presente trabajo se dividió en cuatro bloques principales.

El **primer bloque** consistió en una encuesta a los productores de pollo ecológico en Castilla y León, cuyas respuestas nos encaminaron en el diseño de los posteriores experimentos.

En el **segundo bloque** se evaluaron las condiciones de crianza durante el primer mes de vida. Por un lado, se analizó la influencia de la reducción de la densidad por debajo de la establecida en el Reglamento de producción ecológica, mostrando una mejora significativa sobre el peso final (p5), consumo, y el índice de conversión (IC) en aquellos pollos que habían sido criados en una densidad menor (11,25 animal/m²). En el mismo bloque, se estudió la influencia del descenso de la temperatura (-10 °C) durante la primera semana de vida en pollos y la posterior recuperación de las condiciones normales. Se observó que los pollitos que habían sido criados con este factor estresante tuvieron un peso, ganancia media diaria (GMD) y consumo significativamente menor, mientras que IC se vio significativamente aumentado al cabo de 30 días. Se concluyó que las condiciones ambientales durante el primer mes de vida juegan un papel de gran importancia sobre la producción de pollos en este sistema.

En el **tercer bloque**, se estudió el efecto de la estirpe utilizada (dos híbridos de crecimiento medio) y el periodo de crianza (frío vs. calor) sobre parámetros productivos y de calidad de la carne. La estirpe no tuvo efectos significativos sobre el peso al sacrificio (p120) de los animales, GMDt, e IC total; mientras que observó un incremento significativo del consumo total (C1-120) en la estirpe RedBro. Mientras que las condiciones ambientales de crianza más frías (P1) incrementaron de forma significativa el peso final (p120), GMDt, y el consumo total (C 1-120). En la calidad de la carne el principal efecto de la estirpe fue un contenido significativamente mayor para la humedad, y un contenido significativamente menor para las cenizas en los animales RedBro. El periodo de

crianza más cálido (P2) disminuyó de forma significativa ($p < 0,05$) el contenido en humedad, e incrementó el valor de pH y enrojecimiento (a^*). La composición individual de ácidos grasos de la carne no se vio afectada por el periodo de crianza, sin embargo, si se produjeron modificaciones sobre la composición total de ácidos grasos. En los pollitos que habían sido criados en el periodo más cálido, se redujo de forma significativa ($p < 0,01$) el contenido en SFA, e incrementó ($p < 0,05$) el contenido en PUFA y n-6 en la pechuga. El jugo exprimible se vio afectado por la interacción entre la estirpe y el periodo. Mientras que, el resto de parámetros de calidad estudiados no se vieron afectados por estos factores. La tecnología NIRS no tuvo capacidad para clasificar de forma correcta las muestras atendiendo a los criterios expuestos (estirpe y periodo de crianza).

A partir de los datos obtenidos se planteó el estudio del efecto del peso del primer día de vida sobre el posterior crecimiento hasta el primer mes de vida. Se observó que pollitos con un peso al primer día (p_1) significativamente menor, cuando las condiciones ambientales son adecuadas, son capaces de compensar estas diferencias alcanzando pesos similares al sacrificio (p_{120}) con respecto a aquellos cuyo peso inicial fue mayor. Así mismo, de acuerdo a los objetivos de la presente tesis y como herramienta de ayuda para los ganaderos, se llevó a cabo un modelo matemático para predecir el peso de los animales al sacrificio (p_{120}) utilizando para ello el peso p_{15} y p_{45} en función del periodo de crianza (P1 y P2). No obstante, el valor de R obtenido para dichas ecuaciones fue bajo por lo que se recurrió a un modelo multivariante (RTA) que permitiera una mayor fiabilidad de predicción para determinar el peso al sacrificio (p_{120}), el consumo y el IC.

En el último bloque se evaluó la influencia que tenía la inclusión de harina de larva *Calliphora sp.* (CLM) como fuente proteica alternativa en reemplazamiento parcial del pienso durante el primer mes de vida de pollos ecológicos. Se realizaron cuatro tratamientos experimentales, correspondientes al porcentaje de inclusión de CLM (T1=control, T2=5 %, T3=10 %; T4=15 %). Se observó un incremento de peso al final del experimento (P5), en aquellos animales que habían consumido mayor proporción de CLM (T3 y T4). El grupo con mayor inclusión de CLM (T4) mostraron una GMD total mayor para el periodo de estudio. Se observó una caída en el IC a medida que se incrementó la concentración de CLM, de forma inversa a la cantidad de pienso consumido. Para la evaluación de la calidad de la carne, al cabo de 30 días se extrajeron las pechugas de un total de 7 pollitos por cada grupo (S1). Los pollitos del T4 mostraron un valor significativamente más bajo de pérdidas por cocción y mayor contenido en ácido palmitoleico en la pechuga. El resto de parámetros de calidad estudiados no se vieron significativamente afectados. Sin embargo, no se observó proporcionalidad en la mejoría sobre los parámetros productivos con respecto a la concentración de CLM incluido en el pienso. Los pollitos restantes fueron alimentados con una misma dieta sin incluir CLM durante un mes más y posteriormente fueron sacrificados (S2). No se modificó de forma sustancial la calidad de la carne entre los grupos que inicialmente habían recibido distinta incorporación de CLM, encontrándose únicamente, diferencias significativas para el parámetro a^* , el contenido en ácido eláidico y el ratio n-6/n-3. Se puede concluir que el reemplazo parcial con harina de larvas de *Calliphora sp.* en la

dieta de arranque de pollos de crecimiento medio-lento criados en sistemas ecológicos (hasta un 15 % de nivel de inclusión) es técnicamente viable y proporciona carne de calidad comparable, en líneas generales, a la de pollitos alimentados con una dieta convencional. Por lo que respecta al sistema NIRS, éste clasificó de forma correcta el 92,1 % de las muestras en función de la dieta recibida para los pollitos del primer sacrificio (S1), lo que hace de este sistema un instrumento potencialmente útil para diferenciar la carne en función de la dieta recibida.

Los resultados obtenidos en los distintos experimentos contribuyen a la información disponible y a la producción de aves de carne en régimen ecológico. Aunque, si bien es cierto, dado el crecimiento y la importancia de este sector en los últimos años, se requieren nuevos estudios que permitan afianzar los h expuestos en este trabajo

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Abdullah AY, Muwalla MM, Maharmeh HO, Matarneh SK, Ishmais MAA. Effects of Strain on Performance, and Age at Slaughter and Duration of Post-chilling Aging on Meat Quality Traits of Broiler. 2010; 23(12):1645–56.
2. Abdullah FAA, Buchtova H. Comparison of qualitative and quantitative properties of the wings, necks and offal of chicken broilers from organic and conventional production systems. Vet Med (Praha) .2016;61(11):643-51.
3. Abreu PG, Abreu VMN, Coldebella A, Jaenisch FRF, De Paiva DP. Evaluation of litter material and ventilation systems on poultry production: II. Thermal comfort. Rev Bras Zootec. 2011;40(6):1356-63.
4. Abudabos AM, Samara EM, Hussein EOS, Al-Ghadi MQ, Al-Atiyat RM. Impacts of Stocking Density on the Performance and Welfare of Broiler Chickens. Ital J Anim Sci. 2013;12(1):e11.
5. Adeniji AA. Effect of Replacing Groundnut Cake with Maggot Meal in the Diet of Broilers. Int J Poult Sci. 2007;6(11):822-5.
6. Agriadapt. Adaptación sostenible de sistemas agrarios europeos al cambio climático. 2017.
7. Ain Baziz HA, Geraert PA, Padilha JCF, Guillaumin S. Chronic Heat Exposure Enhances Fat Deposition and Modifies Muscle and Fat Partition in Broiler Carcasses. Poult Sci. 1996;75(4):505-13.
8. Akşit M, Özge Altan, Aslıhan Büyüköztürk Karul, Balkaya M, Özdemir D. Effects of cold temperature and vitamin E supplementation on oxidative stress, Troponin-T level, and other ascites-related traits in broilers. ArchGeflügelk. 2008;72(5):221-30.
9. Akşit M, Yalçın S, Ozkan S, Metin K, Ozdemir D. Effects of temperature during rearing and crating on stress parameters and meat quality of broilers. Poult Sci. 2006;85(11):1867-74.
10. Allegretti G, Talamini E, Schmidt V, Bogorni PC, Ortega E. Insect as feed: An emergy assessment of insect meal as a sustainable protein source for the Brazilian poultry industry. J Clean Prod. 2018;171:403-12.
11. An JY, Zheng JX, Li JY, Zeng D, Qu LJ, Xu GY, *et al.* Effect of myofiber characteristics and thickness of perimysium and endomysium on meat tenderness of chickens. Poult Sci. 2010;89(8):1750-4.
12. Andersen Henrik J, Oksbjerg Niels, Young Jette F, Therkildsen Margrethe. Review. Feeding and meat quality - a future approach. Meat Sci. 2005;(3):70:543-54.
13. Aniebo AO, Owen OJ. Effects of Age and Method of Drying on the Proximate Composition of Housefly Larvae (*Musca domestica* Linnaeus) Meal (HFLM). Pakistan J Nutr. 2010;9(5):485-7.
14. Antelo, AB. Informe 2016 sobre el sector avícola. 2016.
15. Arango Gutierrez GP, Vergara Ruiz RA, Mejía Vélez H. Análisis composicional, microbiológico y digestibilidad de la proteína de la harina de larvas de *Hermetia illucens* L (Diptera:Stratiomyidae). Rev Fac Nac Agron Medellín. 2004;57(2):2491-500.
16. Atil H, Grossman M, Takma Ç. Comparison of growth curve models on average and individual body weights in chickens. ArchGeflügelk. 2007;(1):1-5.
17. Atteh J, Ologbenla F. Replacement of fish meal with maggots in broiler diets: Effects on performance and nutrient retention. Niger J Anim Prod. 1993;20(1):44-9.

18. Awoniyi TA, Aletor MA, Aina JM. Performance of Broiler - Chickens Fed on Maggot Meal in Place of Fishmeal. *Int J Poul Sci.* 2003;2(4):271-4.
19. Bahadori Z, Esmaylzadeh L, Amir M, Torshizi K. The Effect of Earthworm (*Eisenia fetida*) and Vermihumus Meal in Diet on Broilers Chicken Efficiency and Carcass Components. *Biol Forum – An Int J* 7. 2015;7(1):998-1005.
20. Baldinger L, Hagmüller W, Minihuber U, Matzner M, Zollitsch W. Sainfoin seeds in organic diets for weaned piglets - Utilizing the protein-rich grains of a long-known forage legume. *Renew Agric Food Syst.* 2016;31(1):12-21.
21. Ballitoc DA, Sun S. Ground Yellow Mealworms (*Tenebrio molitor L.*) Feed Supplementation Improves Growth Performance and Carcass Yield Characteristics in Broilers. *Open Sci Repos Agric.* 2013
22. Bamgbose A. Utilization of maggot-meal in cockerel diets. *Indian J Anim Sci* . 1999;69(12):1056-8.
23. Barroso FG, de Haro C, Sánchez-Muros MJ, Venegas E, Martínez-Sánchez A, Pérez-Bañón C. The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture.* 2014;422-423:193-201.
24. Barroso FG, Sánchez-Muros M-J, Segura M, Morote E, Torres A, Ramos R, *et al.* Insects as food: Enrichment of larvae of *Hermetia illucens* with omega 3 fatty acids by means of dietary modifications. *J Food Compos Anal.* 2017;62:8-13.
25. Batkowska J, Drabik K, Brodacki A. Quantity and quality of poultry products depending on birds's rearing system. *J Anim Sci Biol Bioeconomy.* 2017;25(3):2-11.
26. Ben-Gera I, Norris KH. Direct Spectrophotometric Determination of Fat and Moisture in Meat Products. *J Food Sci.* 1968;33(1):64-7.
27. Berg C, Yngvesson J. Optimal stocking density for broilers – optimal for whom? In: XXIV World's Poultry Congress 5. Salvador, Bahia, Brasil; 2012..
28. Berri C, Wacrenier N, Millet N, Le Bihan-Duval E. Effect of Selection for Improved Body Composition on Muscle and Meat Characteristics of Broilers from Experimental and Commercial Lines. *Poult Sci Assoc.* 2001;80:833-8.
29. Berzaghi P, Dalle Zotte A, Jansson LM, Andrighetto I. Near-infrared reflectance spectroscopy as a method to predict chemical composition of breast meat and discriminate between different n-3 feeding sources. *Poult Sci.* 2005;84(1):128-36.
30. Bhadauria P, Kataria JM, Majumdar S, Bhanja SK, Kolluri G. Impact of Hot Climate on Poultry Production System-A Review Thermoregulatory Mechanism of Poultry. 2014;2(4):56-63.
31. Bhadauria P, Mamgai P, Murai A, Jadoun Y. Management of Heat Stress in poultry production system. 2016.
32. Bianchi M, Petracci M, Sirri F, Folegatti E, Franchini A, Meluzzi A. The Influence of the Season and Market Class of Broiler Chickens on Breast Meat Quality Traits. *Poult Sci.* 2007;86(5):959-63.
33. Biasato I, Gasco L, De Marco M, Renna M, Rotolo L, Dabbou S, *et al.* Effects of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) inclusion in diets for female broiler chickens: implications for animal health and gut histology. *Anim Feed Sci Technol.* 2017;234:253-63.
34. Blagojevic M, Zlatica P, Zdenka Š, Lukić M, Milošević N, Lidija P. The effect of genotype of broiler chickens on carcass quality in extensive rearing system. *Acta Vet Brno.* 2009;59(1):91-7.

35. Blahová J, Dobšíková R, Straková E, Suchý P. Effect of Low Environmental Temperature on Performance and Blood System in Broiler Chickens (*Gallus domesticus*). *Acta Vet Brno*. 2007;76(8):17–23.
36. Blanco M, Villarroya I. NIR spectroscopy: a rapid-response analytical tool. *Trends Anal Chem*. 2002;21(4):240-50.
37. Bligh J, Johnson KG. Glossary of terms for thermal physiology. *J Appl Physiol*. 1973;35(6):941-61.
38. Bogosavljević-Bošković S, Pavlovski Z, Petrović MD, Dosković V, Rakonjac S. Broiler meat quality: Proteins and lipids of muscle tissue. *African J Biotechnol*. 2010;9(54):9177-82.
39. Bogosavljević-Bošković S, Rakonjac S, Dosković V, Petrović MD. Broiler rearing systems: A review of major fattening results and meat quality traits. *World's Poult Sci J*. 2012;68(2):217-28.
40. Bond J, Can L, Warner R. The effect of exercise stress, adrenaline injection and electrical stimulation on changes in quality attributes and proteins in Semimembranosus muscle of lamb. *Meat Sci*. 2004;68(3):469-77.
41. Bourgougnon N, Bedoux G, Sangiardi A, Stiger-Pouvreau V. Las algas: potencial nutritivo y aplicaciones cosméticas. En: Fundación CETMAR, editor. *Las algas como recurso: Valorización Aplicaciones industriales y tendencias*. Centro Tecnológico Del Mar; 2011 p. 79-84.
42. Bovera F, Piccolo G, Gasco L, Marono S, Loponte R, Vassalotti G, *et al*. Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*, L.) as a possible alternative to soybean meal in broiler diets. *Br Poult Sci*. 2015;56(5):1-7.
43. Buijs S, Keeling L, Rettenbacher S, Van Poucke E, Tuytens FAM. Stocking density effects on broiler welfare: Identifying sensitive ranges for different indicators. *Poult Sci*. 2009;88(8):1536-43.
44. Castellini C, Berri C, Le Bihan-Duval E, Martino G. Qualitative attributes and consumer perception of organic and free-range poultry meat. *Worlds Poult Sci J*. 2008;64(4):500-12.
45. Castellini C, Dal Bosco A, Mugnai C, Pedrazzoli M. Comparison of two chicken genotypes organically reared: oxidative stability and other qualitative traits of the meat. *Ital J Anim Sci*. 2006;5(1):29-42.
46. Castellini C, Mugnai C, Dal Bosco A. Meat quality of three chicken genotypes reared according to the organic system. *Ital. J. Food Sci*. 2002;14(4):401-12.
47. Chander M, Subrahmanyaswar B, Mukherjee R, Kumar S. Organic livestock production: an emerging opportunity with new challenges for producers in tropical countries. *Rev sci tech Off int Epiz*. 2011;30(3):969-83.
48. Channon HA, Payne AM, Warner RD. Halothane genotype, pre-slaughter handling and stunning method all influence pork quality. *Meat Sci*. 2000;56(3):291-9.
49. Charlton AJ, Dickinson M, Wakefield ME, Fitches E, Kenis M, Han R, *et al*. Exploring the chemical safety of fly larvae as a source of protein for animal feed. *J Insects as Food Feed*. 2015;1(1):7-16.
50. Chepete, HJ, Xin H. Heat and Moisture Production of Poultry and Their Housing Systems - A Literature Review. En: *Agricultural and Biosystems Engineering Publications*. 2013.
51. Chernysh SI, Filatova NA, Chernysh NS, Nesin AP. Cytotoxic activity of blowfly *Calliphora vicina* hemocytes. *J Insect Physiol*. 2004;50(9):777-81.
52. Choo YK, Kwon HJ, Oh ST, Um JS, Kim BG, Kang CW, *et al*. Comparison of Growth Performance, Carcass Characteristics and Meat Quality of Korean

- Local Chickens and Silky Fowl. Asian-Australasian J Anim Sci. 2014;27(3):398-405.
53. Čičková H, Newton GL, Lacy RC, Kozánek M. The use of fly larvae for organic waste treatment. Waste Manag. 2015;35:68-80.
54. Coban O, Lacin E, Aksu M, Sabuncuoglu N. The impact of slaughter age on performance, carcass traits, properties of cut-up pieces of carcasses, and muscle development in broiler chickens. Eur Poult Sci. 2014;78:1-10.
55. Cömert M, Şayan Y, Kirkpınar F, Bayraktar ÖH, Mert S. Comparison of Carcass Characteristics, Meat Quality, and Blood Parameters of Slow and Fast Grown Female Broiler Chickens Raised in Organic or Conventional Production System. Asian-Australasian J Anim Sci. 2016;29(7):987-97.
56. Cori ME, Michelangeli C, De Basilio V, Figueroa R, Rivas N. Solubilidad proteica, contenido de mioglobina, color y pH de la carne de pollo, gallina y codorniz. Arch Zootec. 2014;63(241):133-43.
57. Cullere M, Schiavone A, Dabbou S, Gasco L, Zotte AD. Meat quality and sensory traits of finisher broiler chickens fed with black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae fat as alternative fat source. Animals. 2019;9(3):1-15.
58. Cullere M, Tasoniero G, Giaccone V, Acuti G, Marangon A, Dalle Zotte A. Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: meat proximate composition, fatty acid and amino acid profile, oxidative status and sensory traits. Animal. 2018;12(3):640-7.
59. Cullere M, Tasoniero G, Giaccone V, Acuti G, Marangon A, Dalle Zotte A. Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: Meat proximate composition, fatty acid and amino acid profile, oxidative status and sensory traits. Animal. 2017;12(3):640-7.
60. Cullere M, Tasoniero G, Giaccone V, Miotti-Scapin R, Claeys E, De Smet S, et al. Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: apparent digestibility, excreta microbial load, feed choice, performance, carcass and meat traits. Animal. 2016;10(12):1923-30.
61. Da Silva DCF, De Arruda AMV, Gonçalves AA. Quality characteristics of broiler chicken meat from free-range and industrial poultry system for the consumers. J Food Sci Technol. 2017;54(7):1818-26.
62. Dabbou S, Gai F, Biasato I, Capucchio MT, Biasibetti E, Dezzutto D, et al. Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: Effects on growth performance, blood traits, gut morphology and histological features. J Anim Sci Biotechnol. 2018;9(1).
63. Dabbou S, Gasco L, Lussiana C, Brugiapaglia A, Biasato I, Renna M, et al. Yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae inclusion in diets for free-range chickens: effects on meat quality and fatty acid profile. Renew Agric Food Syst. 2019. 1-8.
64. Dagher NJ. Nutritional Strategies to Reduce Heat Stress in Broilers and Broiler Breeders. Beirut, Lebanon; 2000.
65. Dal Bosco A, Mugnai C, Castellini C. Performance and meat quality of pure Ancona and Cornish x Ancona chickens organically reared. Eur Poult Sci. 2011;75(1):7-12.
66. Dal Bosco A, Mugnai C, Ruggeri S, Mattioli S, Castellini C. Fatty acid composition of meat and estimated indices of lipid metabolism in different poultry genotypes reared under organic system. Poult Sci. 2012;91(8):2039-45.

67. De Blas C, Mateos G, García Rebollar. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. Madrid; 2010
68. De Marco M, Martínez S, Hernandez F, Madrid J, Gai F, Rotolo L, et al. Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility. *Anim Feed Sci Technol.* 2016;209:211-8.
69. Del Moral FG, Guillén A, Del Moral LG, O'valle F, Martínez L, Del Moral RG. Duroc and Iberian pork neural network classification by visible and near infrared reflectance spectroscopy. *J Food Eng.* 2008;90:540-7.
70. Deng Y, Rosenvold K, Karlsson AH, Horn P, Hedegaard J, Steffensen CL, et al. Relationship Between Thermal Denaturation of Porcine Muscle Proteins and Water-holding Capacity. *J Food Sci.* 2002;67(5):1642-7.
71. Díaz D, Morlacchini M, Masoero F, Moschini M, Fusconi G, Piva G. Pea seeds (*Pisum sativum*), faba beans (*Vicia faba var. minor*) and lupin seeds (*Lupinus albus var. multitalia*) as protein sources in broiler diets: effect of extrusion on growth performance. *Ital J Anim Sci.* 2006;5(1):43-53.
72. Díaz O, Rodríguez L, Torres A, Cobos A. Chemical composition and physico-chemical properties of meat from capons as affected by breed and age. *Spanish J Agric Res.* 2010;8(1):91.
73. Dingboom EG, Weijs WA, Pas MFW te. The effect of growth and exercise on muscle characteristics in relation to meat quality. En: *Muscle Development of Livestock Animals: Physiology, Genetics, and Meat Quality.* Cambridge: CABI Publ; 2004. p. 83–102.
74. Donkoh A. Ambient temperature: a factor affecting performance and physiological response of broiler chickens. *Int J Biometeorol.* 1989;33(4):259-65.
75. Dos Santos CAT, Lopo M, Páscoa RNMJ, Lopes JA. A Review on the Applications of Portable Near-Infrared Spectrometers in the Agro-Food Industry. *Appl Spectrosc.* 2013;67(11):1215-33.
76. Dotas, V, Bampidis, VA., Sinapis E, Hatzipanagiotou A, Papanikolaou K. Effect of dietary field pea (*Pisum sativum L.*) supplementation on growth performance, and carcass and meat quality of broiler chickens. *Lives Sci.* 2014;164:135-43.
77. Dottavio AM, Masso JR. Mejoramiento avícola para sistemas productivos semi-intensivos que preservan el bienestar animal. *J basic Appl Genet.* 2010;21(2):1-10.
78. Dozier W, Thaxton J, Purswell J, Olanrewaju. HA, Branton S, Roush W. Stocking Density Effects on Male Broilers Grown to 1.8 Kilograms of Body Weight. *Poult Sci.* 2006;85(2):344-51.
79. El Rammouz R. Berri C. Le Bihan-Duval E. Babile R. Fernandez X. Breed differences in the biochemical determinism of ultimate pH in breast muscle of broiler chickens A key role of AMP deaminase? *Poult. Sci.* 2004;83(8):1445-51.
80. Enfalt AC, Lundström K, Hansson I, Karlsson A, Essén-Gustavsson B, Håkansson J. Moderate indoor exercise: effect on production and carcass traits, muscle enzyme activities and meat quality in pigs. *Animal Sci.* Cambridge University Press; 1993;57(1):127-35.
81. Erbas M, Certel M, Uslu M. Some chemical properties of white lupine seeds (*Lupinus albus L.*). *Food Chem.* 2005;89(3):341-5.

82. Estrada MM, Márquez SG. Interacción de los factores ambientales con la respuesta del comportamiento productivo en pollos de engorde. *Rev Colomb Ciencias Pecu.* 2005;18(3):246-57.
83. European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development. EU Agricultural outlook for markets and income 2018-2030. 2018
84. Fanatico AC, Cavitt LC, Pillai PB, Emmert JL, Owens CM. Evaluation of slower-growing broiler genotypes grown with and without outdoor access: meat quality. *Poult Sci.* 2005;84(11):1785-90.
85. Fanatico AC, Pillai PB, Emmert JL, Owens CM. Meat quality of slow- and fast-growing chicken genotypes fed low-nutrient or standard diets and raised indoors or with outdoor access. *Poult Sci.* 2007;86(10):2245-55.
86. Fanatico AC, Pillai PB, Hester PY, Falcone C, Mench JA, Owens CM, *et al.* Performance, Livability, and Carcass Yield of Slow- and Fast-Growing Chicken Genotypes Fed Low-Nutrient or Standard Diets and Raised Indoors or with Outdoor Access. *Poult Sci.* 2008;87(6):1012-21.
87. Feddes J, Emmanuel E, Zuidhof M. Broiler performance, body weight variance, feed and water intake, and carcass quality at different stocking densities. *Poult Sci.* 2002;81(6):774-9.
88. Feng J, Zhang M, Zheng S, Xie P, Ma A. Effects of High Temperature on Multiple Parameters of Broilers In Vitro and In Vivo. *Poult Sci.* 2008;87(10):2133-9.
89. Fernández X, Sante V, Baeza E, Lebihan-Duval E, Berri C, Remignon H, *et al.* Post mortem muscle metabolism and meat quality in three genetic types of turkey. *Br Poult Sci.* 2001;42(4):462-9.
90. FiBL Statistics - European and global organic farming statistics. Data on organic agriculture world-wide. 2018.
91. Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, *et al.* Climate Change 2014 Impacts, Adaptation, and Vulnerability Part A: Global and Sectoral Aspects Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Edited. 2014 .
92. Flachowsky G, Meyer U, Südekum K-H. Land Use for Edible Protein of Animal Origin-A Review. *Anim an open access J from MDPI.* 2017;7(3).
93. Fletcher, D. Broiler breast meat color variation, pH and texture. *Poult. Sci.* 1999; 78(9):1323-7.
94. Fletcher, DL. Poultry meat quality. *Worlds Poult Sci J.* 2002;58(2):131-45.
95. Folch J, Lees M, Sloane Stanley G. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J Biol Chem.* 1957;226(1):497-509.
96. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) 2014. Edible insects – future prospects for food and feed security. FAO Forestry Paper No. 171, FAO, Rome, Italy, p. ix.
97. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Estadísticas agrarias y ganaderas (FAOSTAT). 2017
98. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. Roma; 2009
99. Foss NIRSystems. VISION. En: Technical Notes. Maryland, 1999. p. 29-33
100. Früh B, Schlatter B, Isensee A, Maurer V, Willer H. Report on Organic Protein Availability and Demand in Europe. Research Institute of Organic Agriculture, Frick, Switzerland. 2015.

101. Fumière O, Sinnaeve G, Dardenne P. Attempted authentication of cut pieces of chicken meat from certified production using near infrared spectroscopy. *J Near Infrared Spectrosc.* 2000;8(1):27-34.
102. Furlan R, Faria Filho D de, Rosa P, Macari M. Does low-protein diet improve broiler performance under heat stress conditions? *Rev Bras Ciência Avícola.* 2004;6(2):71-9.
103. Gajana CS, Nkukwana TT, Chimonyo M M V. Effect of altering the starter and finisher dietary phases on growth performance of broilers. *African J Biotechnol.* 2011;10(66):14203-8.
104. Geraert PA, Padilha JC, Guillaumin S. Metabolic and endocrine changes induced by chronic heat exposure in broiler chickens: growth performance, body composition and energy retention. *Br J Nutr.* 1996;75(2):195-204.
105. Gerrard CL, Smith J, Nelder R, Bright A, Colley M, Clements R, *et al.* 100% Organic Poultry Feed: Can Algae Replace Soybean Expeller in Organic Broiler Diets? *Org Farming.* 2015;1(1):38-45.
106. Ghazi S, Habibian M, Moeini MM, Abdolmohammadi AR. Effects of Different Levels of Organic and Inorganic Chromium on Growth Performance and Immunocompetence of Broilers under Heat Stress. *Biol Trace Elem Res.* 2012;146(3):309-17.
107. Ghosh S, Lee S-M, Jung C, Meyer-Rochow VB. Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *J Asia Pac Entomol.* 2017;20(2):686-94.
108. González Jimenez E. Análisis de la situación actual del consumo de pollo certificado frente al blanco en Navarra. Universidad Pública de Navarra; 2013.
109. Gordon SH, Charles DR. Niche and organic chicken products. Nottingham University Press, Nottingham. 2002.
110. Gornowicz E., Effect of some factors of broiler chicken on the quality characteristics of carcasses and meat. *Roczn. Nauk. Zoot. Monografi e i Rozprawy,* 2008:6-13.
111. Grau R, Hamm R. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Wasserbindung im Muskel. *Naturwissenschaften.* 1953;40(1):29-30.
112. Hassanein HHM. Growth Performance and Carcass Yield of Broilers as Affected by Stocking Density and Enzymatic Growth Promoters. *Asian J Poult Sci.* 2011;5(2):94–101.
113. Henry M, Gasco L, Piccolo G, Fountoulaki E. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Anim Feed Sci Technol.* 2015;203(1):1-22.
114. Herschel W. Experiments on the Refrangibility of the Invisible Rays of the Sun. *Proc R Soc London.* 1800;1(0):22-3.
115. Holm C, Fletcher D. Antemortem holding temperatures and broiler breast meat quality. *J. Appl. Poult. Res.* 1997;6(2):180-4.
116. Honeyman MS, Pirog RS, Huber GH, Lammers PJ, Hermann JR. The United States pork niche market phenomenon. *J Anim Sci.* 2006;84(8):2269-75.
117. Howliger MAR, Rose SP. Temperature and the growth of broilers. *Worlds Poult Sci J.* 1987;43(3):228-37.
118. Hu Z, Guo Y. Effects of dietary sodium butyrate supplementation on the intestinal morphological structure, absorptive function and gut flora in chickens. *Anim Feed Sci Technol.* 2007;132(3-4):240-9.

119. Hubbard Premium. Estándar de Crecimiento. ColorYield
120. Hubbard Premium. Estándar de Crecimiento. RedBro.
121. Huff-Lonergan E, Lonergan SM. Postmortem Mechanisms of Meat Tenderization. En: Quality Attributes of Muscle Foods. Boston, MA: Springer US; 1999. p. 229-51.
122. Huff-Lonergan E, Lonergan SM. Postmortem Mechanisms of Meat Tenderization. En: Quality Attributes of Muscle Foods. Boston, MA: Springer US; 1999. p. 229-51.
123. Huff-Lonergan E., Lonergan SM. Mechanisms of water-holding capacity of meat: the role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Sci.* 2005;71(1):194-204.
124. Husak RL, Sebranek JG, Bregendahl K. A Survey of Commercially Available Broilers Marketed as Organic, Free-Range, and Conventional Broilers for Cooked Meat Yields, Meat Composition, and Relative Value. *Poult Sci.* 2008;87(11):2367-76.
125. Hussein M, Pillai V V., Goddard JM, Park HG, Kothapalli KS, Ross DA, *et al.* Sustainable production of housefly (*Musca domestica*) larvae as a protein-rich feed ingredient by utilizing cattle manure. *PLoS One.* 2017;12(2):1-19.
126. Hwangbo J, Hong EC, Jang A, Kang HK, Oh JS, Kim BW, *et al.* Utilization of house fly-maggots, a feed supplement in the production of broiler chickens. *J Environ Biol.* 2009;30(4):609-14.
127. Ipek A, Sahan U, Sozcu A, Ipek A, Sahan U, Sozcu A. The Effects of Different Eggshell Temperatures Between Embryonic Day 10 and 18 on Broiler Performance and Susceptibility to Ascites. *Rev Bras Ciência Avícola.* 2015;17(3):387-94.
128. Isaksson T, Nilsen BN, Tøgersen G, Hammond RP, Hildrum KI. On-line, proximate analysis of ground beef directly at a meat grinder outlet. *Meat Sci.* 1996;43(3-4):245-53.
129. Istiqomah L, Sofyan A, Damayanti E, Julendra H. Amino acid profile of earthworm and earthworm meal (*Lumbricus rubellus*) for animal feedstuff. *J Indones Trop Anim Agric.* 2009;34(4):1-5.
130. Jiang RS, Yang N. Effect of day-old body weight on subsequent growth, carcass performances and levels of growth-related hormones in quality meat-type chicken. *Archiv fur Geflugelkunde,* 2007; 71(2):S93-96.
131. Józefiak D, Józefiak A, Kierończyk B, Rawski M, Świątkiewicz S, Długosz J, *et al.* Insects - A Natural Nutrient Source for Poultry - A Review. *Ann Anim Sci.* 2016;16(2):297-313.
132. Kaoud H. Effect of spirulina platensis as a dietary supplement on broiler performance in comparison with prebiotics. *Sci J Appl Res.* 2012;1(2):44-8.
133. Katogianni I, Zoipopoulos P, Adamidis K, Fegeros K. Comparison of two broiler genotypes grown under the European Union organic legislation Vergleich zweier Broilergentypen für die Biomast nach EU-Verordnung. 2008.
134. Kenis M, Koné N, Chrysostome CAAM, Devic E, Koko GKD, Clottey VA, *et al.* Insects used for animal feed in West Africa. *Entomologia.* 2014;2(2):107-14.
135. Khan S, Khan RU, Alam W, Sultan A. Evaluating the nutritive profile of three insect meals and their effects to replace soya bean in broiler diet. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl).* 2018;102(2):e662-8.

136. Khan SH. Recent advances in role of insects as alternative protein source in poultry nutrition. *J Appl Anim Res.* 2018;46(1):1144-57.
137. Khempaka S, Chitsatchapong C, Molee W. Effect of chitin and protein constituents in shrimp head meal on growth performance, nutrient digestibility, intestinal microbial populations, volatile fatty acids, and ammonia production in broilers. *J Appl Poult Res.* 2011;20(1):1-11.
138. Koivunen E, Talvio E, Valkonen E, Tupasela T, Tuunainen P, Valaja J. Use of semi-leafless peas (*Pisum sativum L*) with enzyme addition in diets for broilers. *Agric Food Sci.* 2016;25(2):90-8.
139. Kotrbacek V, Doucha J, Kucharova V, Doubek J. Unicellular Alga *Chlorella* As a Feed Supplement , Current Experience and Future perspectives. En: *Animal Physiology.* Republica Checa: Universidad de Mendel; 2016.
140. Kramer KJ, Koga D. Insect chitin: Physical state, synthesis, degradation and metabolic regulation. *Insect Biochem.* 1986;16(6):851-77.
141. Kryeziu AJ, Mestani N, Berisha S, Kamberi MA. The European performance indicators of broiler chickens as influenced by stocking density and sex. *Agron Res.* 2018;16(2):483-91.
142. Lachica M, Vílchez Vivanco JA, Fernández-Fígares I. Effect of dietary invertebrates inclusion on growth and feeding behaviour of red-legged partridge chicks. En: XIV Jornadas sobre Producción Animal, Zaragoza, España, 17 y 18 de mayo de 2011. Zaragoza: Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario; 2011. p. 159-61.
143. Lampkin N. A research concept for investigating organic farming systems: Case studies. En: 6th international scientific conference of IFOAM. Santa Cruz, California, USA; 1986; 121-34.
144. Latter-Dubois J. Poulets Fermiers: Leurs Qualités Nutritionnelle et Organoleptiques et la Perception du Consommateur. *Faculté des Sciences de l'Agriculture et de L'Alimentation.* Université Laval, Qubec, Canada; 2000.
145. Laudadio V, Ceci E, Tufarelli V. Productive traits and meat fatty acid profile of broiler chickens fed diets containing micronized fava beans (*Vicia faba L. var. minor*) as the main protein source. *J Appl Poult Res.* 2011;20(1):12-20.
146. Laudadio V, Tufarelli V. Growth performance and carcass and meat quality of broiler chickens fed diets containing micronized-dehulled peas (*Pisum sativum cv. Spirale*) as a substitute of soybean meal. 2010;89(7):1537-43.
147. Lawlor JB, Sheehan EM, Delahunty CM, Kerry JP, Morrissey PA. Sensory Characteristics and Consumer Preference for Cooked Chicken Breasts from Organic, Corn-fed, Free-range and Conventionally Reared Animals. *Int J Poult Sci.* 2003;2(6):409-16.
148. Le Bihan-Duval E, Millet N, Remignon H. Broiler meat quality: Effect of selection for increased carcass quality and estimates of genetic parameters. *Poult Sci.* 1999;78(6):822-6.
149. Leuret B, Prevolnik Povše M, Čandek-Potokar M. Muscle and fat colour. En: *A handbook of reference methods for meat quality assessment.* 1.a ed. 2015. p. 33-49.
150. Leiber F, Gelencsér T, Stamer A, Amsler Z, Wohlfahrt J, Früh B, *et al.* Insect and legume-based protein sources to replace soybean cake in an organic broiler diet: Effects on growth performance and physical meat quality. *Renew Agric Food Syst.* 2017;32(1):21-27.

151. Ley 32/2007, de 7 de noviembre, para el cuidado de los animales, en su explotación, transporte, experimentación y sacrificio. Boletín Oficial del Estado; 2007. p. 45914-20.
152. Ligaraba TJ, Benyi K, Baloyi JJ. Effects of genotype and stocking density on broiler performance under three feeding regimes. *Trop Anim Health Prod.* 2016;48(6):1227-34.
153. Lin H, Jiao HC, Buyse J, Decuyper E. Strategies for preventing heat stress in poultry. *Worlds Poult Sci J.* Cambridge University Press on behalf of World's Poultry Science Association; 2006;62(1):71-86.
154. Listrat A, Lebret B, Louveau I, Astruc T, Bonnet M, Lefaucheur L, *et al.* How Muscle Structure and Composition Influence Meat and Flesh Quality. *Sci World J.* 2016; 2016:1-14.
155. Loes A. Case Studies as a research method in ecological agriculture. 1997;90-8.
156. Lonergan SM, Deeb N, Fedler CA, Lamont SJ. Breast meat quality and composition in unique chicken populations. *Poult Sci.* 2003;82(12):1990-4.
157. López-Bote CJ, Gray JI, Gomez EA, Flegal CJ. Effect of dietary administration of oil extracts from rosemary and sage on lipid oxidation in broiler meat. *Br Poult Sci.* 1998;39(2):235-40.
158. Loponte R, Nizza S, Bovera F, De Riu N, Fliegerova K, Lombardi P, *et al.* Growth performance, blood profiles and carcass traits of Barbary partridge (*Alectoris barbara*) fed two different insect larvae meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*). *Res Vet Sci.* 2017; 115:183-8.
159. Lozano-Diez JM. Producción de Broiler de pesos elevados. En Guadalajara: Selecciones Avícolas; 2007. p. 7-13.
160. Lu Q, Wen J, Zhang H. Environment, well-being, and behavior: Effect of Chronic Heat Exposure on Fat Deposition and Meat Quality in Two Genetic Types of Chicken. *Poult Sci.* 2007; 86:1059-64.
161. Lurueña-Martínez MA, Palacios C, Vivar-Quintana AM, Revilla I. Effect of the addition of calcium soap to ewes' diet on fatty acid composition of ewe milk and subcutaneous fat of suckling lambs reared on ewe milk. *Meat Sci.* 2010;84(4):677-83.
162. Madilindi MA, Mokobane A, Letwaba PB, Tshilate TS, Banga CB, Rambau MD, *et al.* Effects of sex and stocking density on the performance of broiler chickens in a sub-tropical environment. *S Afr J Anim Sci.* 2018;48(3):459-68.
163. Mahdavi R, Torki M. Study on usage period of dietary protected butyric acid on performance, carcass characteristics, serum metabolite levels and humoral immune response of broiler chickens. *J Anim Vet Adv.* 2009;8(9):1702-9.
164. Mahmoud EI N, Abd El-Fat R. Improved Productivity and Health of Broiler Chicken by Micro Green Alga *Chlorella vulgaris*. *Asian J Poult Sci.* 2017;11(2):57-63.
165. Makkar HPS, Tran G, Heuzé V, Ankers P. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim Feed Sci Technol.* 2014; 197:1-33.
166. Malone GW, Chaloupka GW, Merkley JW, Littlefield LH. The Effect of Feeder Space and Light Treatment on Broiler Performance. *Poult Sci.* 1980;59(12):2697-702.
167. Mancini RA, Hunt MC. Current research in meat color. *Meat Sci.* 2005;71(1):100-21.

168. Marangoni F, Corsello G, Cricelli C, Ferrara N, Ghiselli A, Lucchin L, *et al.* Role of poultry meat in a balanced diet aimed at maintaining health and wellbeing: an Italian consensus document. *Food Nutr Res.* 2015;59:27606.
169. Marco M De, Martínez S, Hernandez F, Madrid J, Gai F, Rotolo L, *et al.* Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility. *Anim Feed Sci Technol.* 2016;209:211-8.
170. Martín RD. La ganadería española: del franquismo a la CEE. Balance de un sector olvidado. *Hist Agrar.* 2001;39-52.
171. Martínez-Pérez M, Sarmiento-Franco L, Santos-Ricalde RH, Sandoval-Castro CA. Poultry meat production in free-range systems: perspectives for tropical areas. *Worlds Poult Sci J.* 2017;73(2):309-20.
172. McCurdy RD, Barbut S, Quinton M. Seasonal effect on pale soft exudative (PSE) occurrence in young turkey breast meat. *Food Res Int.* 1996;29(3-4):363-6.
173. McNeill L, Bernard K, MacLeod MG. Food intake, growth rate, food conversion and food choice in broilers fed on diets high in rapeseed meal and pea meal, with observations on sensory evaluation of the resulting poultry meat. *Br Poult Sci.* 2004;45(4):519-23.
174. Meluzzi A, Sirri F, Castellini C, Roncarati A, Melotti P, Franchini A. Influence of genotype and feeding on chemical composition of organic chicken meat. *Ital J Anim Sci.* 2009;8(2):766-8.
175. Mendes M, Akkartal E. Regression tree analysis for predicting slaughter weight in broilers. *Ital J Anim Sci.* 2009;8(4):615-24.
176. Merlita D. The Effect of Lupine Seed in Broiler Diet on Animal Performance and Fatty Acids Profile of their Meat. *Bull UASVM Anim Sci Biotechnol.* 2015;72(2):250-5.
177. Métayer JP, Barrier-Guillot B, Skiba F, Crépon K, Bouvarel I, Marget P, Duc G, Lessire M. Valeur alimentaire et utilisation de différents types de féveroles chez le poulet et le coq adulte. Journées de la recherche avicole. 2003, Tours, France.
178. Michalczyk M, Łukasiewicz M, Zdanowska-Sąsiadek Z, Niemiec J. Comparison of selected quality attributes of chicken meat as affected by rearing systems. *Polish J Food Nutr Sci.* 2014;64(2):121-6.
179. Michalczyk M, Stepinska M, Lukasiewicz M. Effect of the initial body weight of Ross 308 chicken broilers on the rate of growth. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Animal Science.* 2011; 49:121-125
180. Mikulski D, Celej J, Jankowski J, Majewska T, Mikulska M. Growth Performance, Carcass Traits and Meat Quality of Slower-growing and Fast-growing Chickens Raised with and without Outdoor Access. *Asian-Australasian J Anim Sci [Internet].* 24 de agosto de 2011;24(10):1407-16.
181. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación (MAPA). Agricultura ecológica. Estadísticas 2017. 2018
182. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación (MAPA). Anuario de estadística agraria .2017. 2018
183. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación (MAPA). El sector de la avicultura de carne en cifras. Principales indicadores económicos 2017. Dirección general de mercados y productos agrarios. 2018.
184. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación (MAPA). Informe del consumo de alimentación en España 2017. 2018

185. Monroy M, Prasher S, Ngadi MO, Wang N, Karimi Y. Pork meat quality classification using Visible/Near-Infrared spectroscopic data. *Biosyst Eng.* 2010;107(3):271-6.
186. Moradi kor N, Akbari M, Olfati A. The effects of different levels of *Chlorella* microalgae on blood biochemical parameters and trace mineral concentrations of laying hens reared under heat stress condition. *Int J Biometeorol.* 2016;60(5):757-62.
187. Moreno Temprado R. Calidad de la carne de pollo. *Sel. Avícolas.* 2005;47(7):423-30.
188. Mottet A, Tempio G. Global poultry production: Current state and future outlook and challenges. *Worlds Poult Sci J.* 2017;73(2):245-56.
189. Moula N, Detilleux J. A Meta-Analysis of the Effects of Insects in Feed on Poultry Growth Performances. *Animals.* 2019;9(5):201.
190. Moyle JR, Arsi K, Woo-Ming A, Arambel H, Fanatico A, Blore PJ, *et al.* Growth performance of fast-growing broilers reared under different types of production systems with outdoor access: Implications for organic and alternative production systems. *J Appl Poult Res.* 2014;23(2):212-20.
191. Mukhtar N, Khan SH, Anjum MS. Hatchling length is a potential chick quality parameter in meat type chickens. *Worlds Poult Sci J.* 2013; 69(4):889-96.
192. Napolitano F, Castellini C, Naspetti S, Piasentier E, Girolami A, Braghieri A. Consumer preference for chicken breast may be more affected by information on organic production than by product sensory properties. *Poult Sci.* 2013;92(3):820-6.
193. Nascimento ST, Maia ASC, Gebremedhin KG, Nascimento CCN. Metabolic heat production and evaporation of poultry. *Poult Sci.* 2017;96(8):2691-8.
194. Newton GL, Booram C V., Barker RW, Hale OM. Dried *Hermetia Illucens* Larvae Meal as a Supplement for Swine. *J Anim Sci.* 1977;44(3):395-400.
195. Nichelmann M, Höchel J, Tzschentke B. Biological rhythms in birds - Development, insights and perspectives. *Comp Biochem Physiol - A Mol Integr Physiol.* 1999;124(4):429-37.
196. Nijdam D, Rood T, Westhoek H. The price of protein: Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes. *Food Policy.* 2012;37(6):760-70.
197. Norris K, Williams P. Optimization of mathematical treatments of raw near-infrared signal in the measurement of protein in hard red spring wheat: I. Influence of particle size. *Cereal Chem.* 1984;61(2):158-65.
198. Norris K., Butler W. *IRE Transactions on Biomedical Electronics.* 1961;8(3):153.
199. North MO, Bell DD. *Commercial chicken production manual.* Chapman & Hall; 1990. 913
200. Novák P, Zeman L, Ko KA, Novák L. Modelling of Body Mass Increase and Feed Conversion Ratio in Chickens ROSS 208. 2004;17-22.
201. Nuernberg K, Dannenberger D, Nuernberg G, Ender K, Voigt J, Scollan ND, *et al.* Effect of a grass-based and a concentrate feeding system on meat quality characteristics and fatty acid composition of longissimus muscle in different cattle breeds. *Livest Prod Sci.* 2005;94(1-2):137-47.
202. Ogeto V. Performance and meat quality of broiler chicken fed diets enriched with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal. Nairobi; 2017.

203. O'Neill LM, Galvin K, Morrissey PA, Buckley DJ. Comparison of effects of dietary olive oil, tallow and vitamin E on the quality of broiler meat and meat products. *Br Poult Sci.* 1998;39(3):365-71.
204. Ogunji JO, Kloas W, Wirth M, Neumann N, Pietsch C. Effect of housefly maggot meal (mameal) diets on the performance, concentration of plasma glucose, cortisol and blood characteristics of *Oreochromis niloticus fingerlings*. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl).* 2008;92(4):511-8.
205. Olaboro G, Marquardt R, Campbell L, Fröhlich A. Purification, identification and quantification of an egg-weight-depressing factor (vicine) in fababeans (*Vicia faba L.*). *J Sci. Food Agric.* 1981;32(12):1163-71.
206. Olanrewaju HA, Purswell JL, Collier SD, Branton SL. Effect of ambient temperature and light intensity on physiological reactions of heavy broiler chickens. *Poult Sci.* 2010;89(12):2668-77.
207. ORDEN AYG/452/2013, de 29 de mayo, por la que se aprueba el Reglamento Regulador de la Producción Agraria Ecológica y su indicación sobre los productos agrarios. Boletín oficial de Castilla y León (BOCYL). 2013. P.40665
208. y alimenticios y del Consejo de Agricultura Ecológica de la Comunidad de Castilla y León Osborne BG, Fearn T. Near Infrared Spectroscopy in Food Analysis. 2o. Longman Science Technology. Harlow (UK); 1986.
209. Osuga IM, Tanga C, Ekesi S, Nakimbugwe D. Insects for Income Generation Through Animal Feed: Effect of Dietary Replacement of Soybean and Fish Meal With Black Soldier Fly Meal on Broiler Growth and Economic Performance. 2018. University of Kenya.
210. Oviedo-Rondón E. Efecto de la temperatura y de la velocidad del aire en naves de pollos. Albéitar Portal Veterinaria. 2014.
211. Palacios Riocerezo, C. Estudio técnico-económico de la conversión a la producción ecológica del ganado ovino de leche. Universidad de León; 2010.
212. Patbandha TK, Garg D, Savsani HH. Effect of chick weight and morphometric traits on growth performance of coloured broiler chicken Effect of chick weight and morphometric traits on growth performance of coloured broiler chicken. *J Entomol Zool Stud.* 2017;5(6):1278-81.
213. Peana I, Francesconi AHD, Dimauro C, Cannas A, Sitzia M. Effect of winter and spring meteorological conditions on milk production of grazing dairy sheep in the Mediterranean environment. *Small Rumin Res.* 2017;153:194-208.
214. Pearincott J V. Changes in the lipid content during growth and metamorphosis of the house fly. *Musca domestica* Linnaeus. *J Cell Comp Physiol.* 1960;55:167-74.
215. Pérez-Maldonado RA, Mannion PF, Farrell DJ. Optimum inclusion of field peas, faba beans, chick peas and sweet lupins in poultry diets. I. Chemical composition and layer experiments. *Br Poult Sci.* 1999;40(5):667-73.
216. Petek M, Cibik R, Yildiz H, Sonat FA, Gezen SS, Orman A, *et al.* The influence of different lighting programs, stocking densities and litter amounts on the welfare and productivity traits of a commercial broiler line. *Vet ir Zootech.* 2010;51(73):36-43.
217. Petracci M, Betti M, Bianchi M, Cavani C. Color variation and characterization of broiler breast meat during processing in Italy. *Poult Sci.* 2004;83(12):2086-92.

218. Petracci, M, Fletcher D, Northcutt J. The effect of holding temperature on live shrink, processing yield, and breast meat quality of broiler chickens. *Poult. Sci.* 2001;80(5):670-5.
219. Pieterse E, Pretorius Q, Hoffman LC, Drew DW. The carcass quality, meat quality and sensory characteristics of broilers raised on diets containing either *Musca domestica* larvae meal, fish meal or soya bean meal as the main protein source. *Anim Prod Sci.* 2013;54(5):622-8.
220. Ponte PIP, Alves SP, Bessa RJB, Ferreira LMA, Gama LT, Bras JLA, *et al.* Influence of Pasture Intake on the Fatty Acid Composition, and Cholesterol, Tocopherols, and Tocotrienols Content in Meat from Free-Range Broilers. *Poult Sc.* 2008;87(1):80-8.
221. Porep JU, Kammerer DR, Carle R. On-line application of near infrared (NIR) spectroscopy in food production. *Trends Food Sci Technol.* 2015;46(2):211-30.
222. Popova T, Ignatova M, Petkov E, Stanišić N. Difference in fatty acid composition and related nutritional indices of meat between two lines of slow-growing chickens slaughtered at different ages. *Arch Anim Breed.* 2016;59(3):319–27.
223. Popova T, Petkov E, Ignatova M. Fatty acid composition of breast meat in two lines of slow-growing chickens reared conventionally or on pasture. *Food Sci Appl Biotechnol.* 2018;1(1):70.
224. Prayogi HS. The effect of earthworm meal supplementation in the diet on quail's growth performance in attempt to replace the usage of fish meal. *Int J Poult Sci.* 2011;10(10):804-6.
225. Pretorius Q. The evaluation of larvae of *Musca domestica* (common house fly) as protein source for broiler production. *Nutricional University.* 2011.
226. Prieto N, Juárez M, Larsen IL, López-Campos Ó, Zijlstra RT, Aalhus JL. Rapid discrimination of enhanced quality pork by visible and near infrared spectroscopy. *Meat Sci.* 2015;110:76-84.
227. Prieto N, López-Campos Ó, Zijlstra RT, Uttaro B, Aalhus JL. Discrimination of beef dark cutters using visible and near infrared reflectance spectroscopy. *Can J Anim Sci.* 2015;94(3):445-54.
228. Prieto N, Pawluczyk O, Dugan MER, Aalhus JL. A Review of the Principles and Applications of Near-Infrared Spectroscopy to Characterize Meat, Fat, and Meat Products. *Appl Spectrosc.* 2017;71(7):1403-26.
229. Puchala M, Krawczyk J, Sokołowicz Z, Utnik-Banaś K. Effect of breed and production system on physicochemical characteristics of meat from multi-purpose hens. *Ann Anim Sci.* 2015;16:(1)247-61.
230. Quinteiro-Filho WM, Calefi AS, Cruz DSG, Aloia TPA, Zager A, Astolfi-Ferreira CS, *et al.* Heat stress decreases expression of the cytokines, avian β -defensins 4 and 6 and Toll-like receptor 2 in broiler chickens infected with *Salmonella Enteritidis*. *Vet Immunol Immunopathol.* 2017;186:19–28.
231. Qureshi S, Khan HM, Mir MS, Raja T, Khan A. Effect of Cold Stress and Various Suitable Remedies on Performance of Broiler Chicken. *J world Poult Res.* 2018;8(3):66-73.
232. Rambau MD, Mudau ML, Makhanya SD, Benyi K. Effects of stocking density and daily feed withdrawal periods on the performance of broiler chickens in a semi-arid environment. *Trop Anim Health Prod.* 2016;48(8):1547-54.

233. Ramos-Elorduy J, González EA, Hernández AR, Pino JM. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. J Econ Entomol. 2002;95(1):214-20.
234. Ravindran V, Nalle CL, Ravindran G. Evaluation of Faba Beans, White Lupins and Peas as Protein Sources in Broiler Diets. Int J Poult Sci. 2010;9(6):567-73.
235. Real Decreto 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. Boletín Oficial del Estado; 2013. p. 1-49.
236. Real Decreto 692/2010, de 20 de mayo, por el que se establecen las normas mínimas para la protección de los pollos destinados a la producción de carne. Boletín Oficial del Estado; 2010. p. 47986-95.
237. Reece FN, Lott BD. The Effect of Environmental Temperature on Sensible and Latent Heat Production of Broiler Chickens. Poult Sci. 1982;61(8):1590-3.
238. Reglamento (CE) N.º 834/2007 del Consejo, de 28 de junio de 2007, sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CEE) N.º 2092/91. Consejo de la Unión Europea; 2007. p. 1-23.
239. Reglamento (CE) N.º 1099/2009 del Consejo, de 24 de septiembre de 2009, relativo a la protección de los animales en el momento de la matanza. Consejo de la Unión Europea; 2009. p. 1-30.
240. Reglamento (CE) N.º 889/2008 de la Comisión, de 5 de septiembre de 2008, por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) N.º/2007 del Consejo sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos, con respecto a la producción ecológica, su etiquetado y su control. Consejo de la Unión Europea; 2008. p. 1-84.
241. Reglamento (CE) N.º. 999/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de mayo de 2001 por el que se establecen disposiciones para la prevención, el control y la erradicación de determinadas encefalopatías espongiiformes transmisibles; 2001.
242. Reglamento (CEE) N.º 2092/91 del Consejo de 24 de junio de 1991 sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios. Unión Europea; 1991 p. 1–24.
243. Reglamento (CEE) N.º 2078/92 del Consejo, de 30 de junio de 1992, sobre métodos de producción agraria compatibles con las exigencias de la protección del medio ambiente y la conservación del espacio natural. Unión Europea; 1992.
244. Reglamento (CEE) N.º 2092/91 del Consejo, de 24 de junio de 1991 sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural Marino.
245. Reglamento (UE) 2017/893 de la Comisión de 24 de mayo de 2017 que modifica los anexos I y IV del Reglamento (CE) N.º 999/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo y los anexos X, XIV y XV del Reglamento (UE) N.º 142/2011 de la Comisión por lo que se refiere a las disposiciones sobre proteína animal transformada.
246. Reglamento (UE) 2018/848 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, sobre producción ecológica y etiquetado de los productos

- ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CE) N.º 834/2007 del Consejo.
247. Ripoll G, Lobón S, Joy M. Use of visible and near infrared reflectance spectra to predict lipid peroxidation of light lamb meat and discriminate dam's feeding systems. *Meat Sci.* 2018;143:24-9.
248. Ross E, Dominy W. The Nutritional Value of Dehydrated, Blue-Green Algae (*Spirulina plantensis*) for Poultry. *Poult Sci.* 1990;69(5):794-800.
249. Roth-Maier D, Paulicks B. Feeding and nutritional value of sweet blue and yellow lupin seed (*Lupinus angustifolius L.*, *Lupinus luteus L.*) for broiler chicks. *Arch Geflügelkd.* 2002;67(4):175-8.
250. Rubio L, Brenes A, Centeno C. Effects of feeding growing broiler chickens with practical diets containing sweet lupin (*Lupinus angustifolius*) seed meal. *Br Poult Sci.* 2003;44(3):391-7.
251. Ruhnke, I.; Normant, C.; Iqbal, Z.; Campbell, D.L.M.; Zentek, J.; Choct, M. Feed refusal of laying hens—A casereport. In Proceedings of the 28th Annual Australian Poultry Science Symposium, Sydney, New SouthWales, Australia, 13–15 February 2017; The University of Sydney, Sydney: New South Wales, Australia, 2017;pp. 213–216
252. Sales J. Effects of access to pasture on performance, carcass composition, and meat quality in broilers: A meta-analysis. *Poult Sci.* 2014;93(6):1523-33.
253. Sanchez-Muros MJ, Barroso FG, de Haro C. Brief Summary of Insect Usage as an Industrial Animal Feed / Feed Ingredient. En: *Insects as Sustainable Food Ingredients.* 2016. p. 275-312.
254. Sandercock DA, Hunter RR, Nute GR, Mitchell MA, Hocking PM. Acute Heat Stress-Induced Alterations in Blood Acid-Base Status and Skeletal Muscle Membrane Integrity in Broiler Chickens at Two Ages: Implications for Meat Quality. *Poult Sci.* 2001;80(4):418-25.
255. Santomá G, Mateos G. Necesidades Nutricionales para la Avicultura. Normas FEDNA para la formulación de piensos. 2.a ed. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, editor. Madrid; 2018. 1-167 p.
256. Santos A, Sakomura N, Freitas E, Fortes C, Carrilho E. Comparison of free range broiler chicken strains raised in confined or semi-confined systems. *Rev Bras Ciência Avícola.* 2005;7(2):85-92.
257. Sanz M, Flores A, López-Bote C. Effect of fatty acid saturation in broiler diets on abdominal fat and breast muscle fatty acid composition and susceptibility to lipid oxidation. *Poult Sci.* 1999;78(3):378-82.
258. Sarmiento García A, Palacios Riocerezo C, Álvarez A. Nuevas oportunidades en el sector avícola de producción cárnica. *Albeitar Vet.* 2017;1-21.
259. Sarsenbek A, Wang T, Zhao JK, Jiang W. Comparison of carcass yields and meat quality between Baicheng-You chickens and Arbor Acres broilers. *Poult Sci.* 2013;92(10):2776-82.
260. Scanes CG. Biology of stress in poultry with emphasis on glucocorticoids and the heterophil to lymphocyte ratio. *Poult Sci.* 2016;95(9):2208-15.
261. Schettino B, Pérez J, Gutiérrez R, Vega León S, Faure R, Escobar A. Analysis of robustness in the determination of fatty acids by gas chromatography on goat milk. *Rev Salud Anim.* 2011;33(2):83-9.

262. Schiavone A, Cullere M, De Marco M, Meneguz M, Biasato I, Bergagna S, *et al.* Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) fat in broiler diets: Effect on growth performances, feed-choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. *Ital J Anim Sci.* 2017;16(1):93-100.
263. Schiavone A, Dabbou S, De Marco M, Cullere M, Biasato I, Biasibetti E, *et al.* Black soldier fly larva fat inclusion in finisher broiler chicken diet as an alternative fat source. *Animal.* 2018;1-8.
264. Schiavone A, Dabbou S, Petracci M, Zampiga M, Sirri F, Biasato I, *et al.* Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: effects on carcass traits, breast meat quality and safety. *Animal.* 2019:1-9.
265. Schneider BL, Renema RA, Betti M, Carney VL, Zuidhof MJ. Effect of holding temperature, shackling, sex, and age on broiler breast meat quality. *Poult Sci.* 2012;91(2):468-77.
266. Sealey WM, Gaylord TG, Barrows FT, Tomberlin JK, McGuire MA, Ross C, *et al.* Sensory Analysis of Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*, Fed Enriched Black Soldier Fly Prepupae, *Hermetia illucens*. *J World Aquac Soc.* 2011;42(1):34-45.
267. Shams Shargh M, Ahani Azari M. Determination of the optimum inclusion level of faba beans in diet of broiler chicks. *Indian J Anim Sci.* 2010; 80:940-2.
268. Sheppard C. Black soldier fly and others for value added manure management. Athens, GA.; 2002.
269. Shinde S, Patil R, Padghan P. Effect of *Spirulina* supplementation on growth performance of broilers. *J Pharmacogn Phytochem.* 2018;7(1):3265-7.
270. Siaga R, Jimu Baloy J, Daniel Ram M, Benyi K. Effects of Stocking Density and Genotype on the Growth Performance of Male and Female Broiler Chickens. *Asian J Poult Sci.* 2017;11(2):96-104.
271. Sierra V, Aldai N, Castro P, Osoro K, Coto-Montes A, Oliván M. Prediction of the fatty acid composition of beef by near infrared transmittance spectroscopy. *Meat Sci.* 2008;78(3):248-55.
272. Simitzis PE, Kalogeraki E, Goliomytis M, Charismiadou MA, Triantaphyllopoulos K, Ayoutanti A, *et al.* Impact of stocking density on broiler growth performance, meat characteristics, behavioural components and indicators of physiological and oxidative stress. *Br Poult Sci.* 2012;53(6):721-30.
273. Sindik M, Revidatti F, Fernández R, Revidatti M, Michel M, Rigonatto T. Rendimiento a la faena en pollos provenientes de dos genotipos de reproductores camperos. *Actas Iberoam Conserv Anim.* 2012;2:279-81.
274. Sing KW, Sofian-Azirun M, Tayyab S. Protein analysis of *Chrysomya megacephala* maggot meal. *Anim Nutr Feed Technol.* 2012;12(1):35-46.
275. Sirri F, Castellini C, Roncarati A, Franchini A, Meluzzi A. Effect of feeding and genotype on the lipid profile of organic chicken meat. *Eur J Lipid Sci Technol.* 2010;112(9):994-1002.
276. Skomorucha I, Sosnowka-Czajka E. Physiological parameters in broiler chickens reared under different housing systems during a period of high temperatures. *Acta Sci Pol Zootech.* 2017;16(3):25-34.

277. Škrbić Z, Pavlovski Z, Lukić M, Petričević V, Milić D. Production performance and carcass quality of coloured broilers differentiated genetic potential for growth. *Biotechnol Anim Husb.* 2013;29(4):615-24.
278. Smith D, Lyon C, Lyon B. The effect of age, dietary carbohydrate source, and feed withdrawal on broiler breast fillet color. *Poult Sci.* 2002;81(10):1584-8.
279. Snipes K. EU-28 Poultry and Products Annual EU-28 Broiler Production to Grow in 2017 and 2018. Global agricultural Information Network. 2017.
280. Sohail MU, Hume ME, Byrd JA, Nisbet DJ, Ijaz A, Sohail A, *et al.* Effect of supplementation of prebiotic mannan-oligosaccharides and probiotic mixture on growth performance of broilers subjected to chronic heat stress. *Poult Sci.* 2012;91(9):2235-40.
281. Sokołowicz Z, Krawczyk J, Świątkiewicz S. Quality of poultry meat from native chicken breeds-a review. *Anim Sci.* 2016;16(2):347-68.
282. Sonaiya EB, Ristic M, Klein FW. Effect of environmental temperature, dietary energy, age and sex on broiler carcass portions and palatability. *Br Poult Sci.* 1990;31(1):121-8.
283. Sorensen P, Su G, Kestin SC. Effects of Age and Stocking Density on Leg Weakness in Broiler Chickens. *Poult Sci.* 2000;79(6):864-70.
284. Sossidou EN, Dal Bosco A, Castellini C, Grashorn MA. Effects of pasture management on poultry welfare and meat quality in organic poultry production systems. *Worlds Poult Sci J.* 2015;71(2):375-84.
285. Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, de Haan C. Livestock's long shadow: environmental issues and options. En: Food and Agriculture Organization. 2006. Roma, Italy.
286. St-Hilaire S, Cranfill K, McGuire MA, Mosley EE, Tomberlin JK, Newton L, *et al.* Fish Offal Recycling by the Black Soldier Fly Produces a Foodstuff High in Omega-3 Fatty Acids. *J World Aquac Soc.* 2007;38(2):309-13.
287. Suchý P, Straková E, Herzig I, Steinhauser L, Vopálenký J, Kroupa L. Effect of Replacing Soybean Meal with Lupin Seed-based Meal in Chicken Diet on Performance, Carcass Value and Meat Quality. *Acta Vet. Brno.* 2010;79(2):195-202.
288. Sujak A, Kotlarz A, Strobel W. Compositional and nutritional evaluation of several lupin seeds. *Food Chem.* 2006;98(4):711-9.
289. a. Sun S, Guo B, Wei Y, Fan M. Classification of geographical origins and prediction of $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ values of lamb meat by near infrared reflectance spectroscopy. *Food Chem.* 2012;135(2):508-14.
290. b. Sun T, Liu Z, Qin L, Long R. Meat fatty acid and cholesterol level of free-range broilers fed on grasshoppers on alpine rangeland in the Tibetan Plateau. *J Sci Food Agric.* 2012.30 ;92(11):2239-43. (1)
291. Sundrum A, Padel S, Arsenos G, Kuzniar A, Henriksen B.I.F, Walkenhorst *et al.* Current and proposed EU legislation on organic livestock production, with a focus on animal health, welfare and food safety: a review. En: Rymer, C., Vaarst, M. and Padel, S. (eds). Future perspectives for animal health on organic farms: Main findings, conclusions and recommendations from the SAFO Network. Proceedings of the 5th SAFO Workshop, 1 June 2006, Odense, Denmark. University of Reading, UK.
292. Szczesniak A. Review paper: Correlating sensory with instrumental texture measurements - An overview of recent developments. *J Texture Stud.* 1987;18(1):1-15.

293. Tang S, Yu J, Zhang M, Bao E. Effects of different heat stress periods on various blood and meat quality parameters in young Arbor Acer broiler chickens. *Can J Anim Sci* .2013;93(4):450-60.
294. Tégua A, Mpoame M, Okourou Mba JA. The Production Performance of Broiler Birds as Affected by the Replacement of Fish Meal by Maggot Meal in the Starter and Finisher Diets. *Tropicicultura*. 2002;20(1):187-92.
295. Temim S, Chagneau A-M, Peresson R, Tesseraud S. Chronic Heat Exposure Alters Protein Turnover of Three Different Skeletal Muscles in Finishing Broiler Chickens Fed 20 or 25% Protein Diets. *J Nutr*. 2000;130(4):813-9.
296. The international Platform of Insects for food and feed (IPIFF). EU organic certification of insect production activities. 2019.
297. Tong HB, Lu J, Zou JM, Wang Q, Shi SR. Effects of stocking density on growth performance, carcass yield, and immune status of a local chicken breed. *Poult Sci*. 2012;91(3):667-73.
298. Tong HB, Wang Q, Lu J, Zou JM, Chang LL, Fu SY. Effect of free-range days on a local chicken breed: Growth performance, carcass yield, meat quality, and lymphoid organ index. *Poult Sci*. 2014;93(8):1883-9.
299. Tschirner M, Simon A. Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. *J Insects as Food Feed*. 2015;1(4):249-59.
300. Tsiouris V. Poultry management: a useful tool for the control of necrotic enteritis in poultry. *Avian Pathol*. 2016;45(3):323-5.
301. Uzun B, Arslan C, Karhan M, Toker C. Fat and fatty acids of white lupin (*Lupinus albus L.*) in comparison to sesame (*Sesamum indicum L.*). Fat acids white lupin (*Lupinus albus L*) Comp to sesame (*Sesamum indicum L*). *Food chem*. 2013;102(1):45-9.
302. Van der Sluis W. Floor temperature affects broiler performance. *World Poult [Internet]*. 2004;20(3):17.
303. Van Huis A. Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. *Annu Rev Entomol*. 2013;58(1):563-83.
304. Van Krimpen MM, Bikker P, Van Der Meer IM, Van Der Peet-Schwering CMC, Vereijken JM. Cultivation, processing and nutritional aspects for pigs and poultry of European protein sources as alternatives for imported soybean products Report 662. 2013.
305. Van Laack RLJM, Liu C-H, Smith MO, Loveday HD. Characteristics of Pale, Soft, Exudative Broiler Breast Meat. *Poult Sci*. 2000;79(7):1057-61.
306. Vanhonacker F, Verbeke W, Van Poucke E, Buijs S, Tuytens FAM. Societal concern related to stocking density, pen size and group size in farm animal production. *Livest Sci*. 2009;123(1):16-22
307. Vantomme P. Way forward to bring insects in the human food chain. *J Insects as Food Feed*. 2015;1(2):121-9.
308. Vecerek V, Suchý P, Straková E, Macháček M. Nutritive composition of seeds of the lupin varieties registered in the Czech Republic. En; J.A. Palta and J.B. Berger (eds). 2008. 'Lupins for Health and Wealth' Proceedings of the 12th International Lupin Conference, 14-18 Sept. 2008, p: 123-126, Fremantle, Western Australia. International Lupin Association, Canterbury, New Zealand.
309. Veldkamp T, Bosch G. Insects: a protein-rich feed ingredient in pig and poultry diets. *Anim Front*. 2015;5(2):45-50.

310. Verbeke W, Sans P, Van Loo EJ. Challenges and prospects for consumer acceptance of cultured meat. *J Integr Agric.* 2015;14(2):285-94.
311. Vielma R RA, Rosales D, Rosales Y, Medina AL, Villarreal J. Perfil electroforético y calidad microbiológica de la harina de lombriz *Eisenia fetida*. *Rev Chil Nutr.* 2008;35(3):225-34.
312. Vilariño M, Métayer JP, Crépon K, Duc G. Effects of varying vicine, convicine and tannin contents of faba bean seeds (*Vicia faba L.*) on nutritional values for broiler chicken. *Anim Feed Sci Technol.* 2009;150(1-2):114-21.
313. Von Borell E, Srensen JT. Organic livestock production in Europe: aims, rules and trends with special emphasis on animal health and welfare. *Livest Prod Sci.* 2004;90(1):3-9.
314. Wallenbeck A, Wilhelmsson S, Jönsson L, Gunnarsson S, Yngvesson J. Behaviour in one fast-growing and one slower-growing broiler (*Gallus gallus domesticus*) hybrid fed a high- or low-protein diet during a 10-week rearing period. *Acta Agric Scand Sect A — Anim Sci.* 2016. 2;66(3):168-76.
315. Wang Y-S, Shelomi M. Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food. *Foods.* 2017;6(10):91.
316. Watts JM, Graff LJ, Strawford ML, Crowe TG, Burlingquette NA, Classen HL, *et al.* Heat and moisture production by broilers during simulated cold weather transport. *Poult Sci.* 2011;90(9):1890-9.
317. Weeranantanaphan J, Downey G, Allen P, Sun D-W. A Review of near Infrared Spectroscopy in Muscle Food Analysis: 2005–2010. *J Near Infrared Spectrosc.* 2011;19(2):61-104.
318. Wilkins LJ, Brown SN, Phillips AJ, Warriss PD. Variation in the colour of broiler breast fillets in the UK. *Br Poult Sci.* 2000;41(3):308-12.
319. Willer, H, Lernoud, J. The World of Organic Agriculture 2017. Satatistic and emerging trends, 2017. FiBL & AMP; IFOAM Organic International. 2017.
320. Willke T, Hartwich T, Reershemius H, Jurchescu I, Lang S, Vorlop UK. Ökologisch produziertes Methionin aus Mikroorganismen. 2010;125-36.
321. Woelfel RL, Owens CM, Hirschler EM, Martinez-Dawson R, Sams AR. The characterization and incidence of pale, soft, and exudative broiler meat in a commercial processing plant. *Poult Sci.* 2002;81(4):579-84.
322. Wójcik W, Ukasiewicz MŁ. Nutritional value variability of different poultry species meat in the organic production system. *Anim Sci.* 2017;56(2):323-36.
323. Wood J., Richardson R., Nute G., Fisher A., Campo M., Kasapidou E, *et al.* Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Sci.* 2004;66(1):21-32.
324. Yahav S, Shinder D, Tanny J, Cohen S. Sensible heat loss: the broiler's paradox. *Worlds Poult Sci J.* 2005;61(3):419-34.
325. Yalçın S, Settar P, Ozkan S, Cahaner A. Comparative evaluation of three commercial broiler stocks in hot versus temperate climates. *Poult Sci.* 1997;76(7):921-9.
326. Yang N, Jiang RS. Recent advances in breeding for quality chickens. *World's Poult Sci. J.* 2005; 61:373-81.
327. Youssao I, Alkoiret I, Dahouda M, Assogba M, Idrissou N, Kayang B, *et al.* Comparison of growth performance, carcass characteristics and meat quality of Benin indigenous chickens and Label Rouge (T55SA51). *African J Biotechnol.* 2012;11(89):15569-79.

-
328. Yuniyanto VD, Hayashi K, Kaneda S, Ohtsuka A, Tomita Y. Effect of environmental temperature on muscle protein turnover and heat production in tube-fed broiler chickens. *Br J Nutr.* 1997;77(6):897-909.
 329. Yunis R, Cahaner A. The effects of the naked neck (Na) and frizzle (F) genes on growth and meat yield of broilers and their interactions with ambient temperatures and potential growth rate. *Poult Sci.* 1999;78(10):1347-52.
 330. Zamora-Rojas E, Pérez-Marín D, De Pedro-Sanz E, Guerrero-Ginel JE, Garrido-Varo A. In-situ Iberian pig carcass classification using a micro-electro-mechanical system (MEMS)-based near infrared (NIR) spectrometer. *Meat Sci.* 2012;90(3):636-42.
 331. Zhang ZY, Jia GQ, Zuo JJ, Zhang Y, Lei J, Ren L, *et al.* Effects of constant and cyclic heat stress on muscle metabolism and meat quality of broiler breast fillet and thigh meat. *Poult Sci.* 2012;91(11):2931-7.
 332. Žlender B, Holcman A, Stibilj V, Polak T. Fatty acid composition of poultry meat from free range rearing. *Agris.* 2000;6(1):81-81.
 333. Zollitsch W, Baumung R. Protein supply for organic poultry: options and shortcomings. Department of Sustainable Agricultural Systems. Section of Livestock Sciences. University of Natural Resources and Applied Life Science. 2004.

ANEXO I. ENCUESTA

1. **PRIMER BLOQUE: INSTALACIONES**
 - a. Capacidad máxima
 - b. Producción anual
 - c. Densidad (pollos/m²)
 - d. Tipo de instalaciones
2. **SEGUNDO BLOQUE: DATOS PRODUCTIVOS**
 - a. Peso medio de entrada en la explotación
 - b. Peso medio de salida de la explotación
 - c. Peso medio de la canal
 - d. Rendimiento de la canal
 - e. Consumo de pienso diario
 - f. GMD
3. **TERCER BLOQUE: MANEJO**
 - a. Proporción por sexos
 - b. Estirpes utilizadas
 - c. Alimento suministrado
 - d. Principales limitaciones con respecto a la producción industrial
4. **CUARTO BLOQUE: PRINCIPALES INCIDENCIAS**
 - a. Principales patologías
 - b. Comunicaciones en matadero
 - c. Tratamientos utiliza



EFFECTO DE LAS CONDICIONES DE CRIANZA SOBRE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LA CARNE DE POLLOS ECOLÓGICOS.

Ainhoa Sarmiento García
TESIS DOCTORAL · Zamora 2019

CONTRIBUCIONES CIENTIFICAS DERIVADAS DE LA PRESENTE TESIS

a) Contribuciones a congresos

- Principales resultados del efecto de las condiciones de crianza sobre la producción y la calidad de carne de pollos ecológicos En: II Jornadas de Jóvenes investigadores en Ciencia y Tecnologías Químicas. Salamanca; Noviembre 2019.
- Efecto de la densidad de población sobre el rendimiento productivo durante el primer mes de vida en pollos de crecimiento medio-lento bajo condiciones de producción ecológica. En: II Jornadas de Jóvenes Investigadores. INNOVA. Salamanca; Septiembre 2019.
- Effect of the inclusion of *Calliphora sp.* derived flour in the diet of organic slow-growing chicken and its compensating effect of low temperatures during the first week of life. En: 70th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science. Ghent, Bélgica; Agosto 2019.
- Efecto de la inclusión de harina de larva de *Calliphora sp.* en la dieta de pollos de crecimiento lento durante el primer mes de vida en sistemas de producción ecológica. En: XVIII Jornadas sobre Producción Animal. Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario. Zaragoza; 2019. p. 308-10.
- Efecto sobre la calidad de pollos de crecimiento lento, de la inclusión de harina de larva *Calliphora sp.*, en la dieta durante el primer mes de vida.". En: XVIII Jornadas sobre Producción Animal. Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario. Zaragoza; 2019. p. 531-3.
- Aplicación de métodos rápidos (NIRS) para el establecimiento de la influencia de la raza, estacionalidad y uso de nuevas fuentes de proteína sobre los parámetros de crecimiento y calidad de carne de pollos de crecimiento lento en producción certificada ecológica. En: I Jornadas de Jóvenes investigadores en Ciencia y Tecnologías Químicas. Salamanca; 2018.

b) Publicaciones

- Sarmiento García A, Palacios Riocerezo, Revilla Martín I. Nuevas alternativas proteicas en la alimentación de pollos ecológicos. El uso de insectos. Albeitar vet. 2019; 10-12.
- Sarmiento García A, Palacios Riocerezo C, Álvarez S. Nuevas oportunidades en el sector avícola de carne. Albeitar Vet. 2017;208:8-10.
- Sarmiento García A, Palacios Riocerezo C, Álvarez S. Novas oportunidades no setor avícola de produção cárnica. Albeitar Vet (Portugal). 2017;43:12-17.
- Palacios Riocerezo C, Sarmiento García, A. Producción alternativa de Broiler. Albeitar Vet. 2018;218:8-10

c) Premios

- Premio Colegio Oficial de Veterinarios de Zamora y Caja Rural: ¿Futuro de la alimentación animal? Inclusión de insectos como alternativas proteicas en la producción de pollos ecológicos. Septiembre, 2019.
- Premio Real Academia de las Ciencias Veterinarias de Castilla y León: Efecto de las condiciones ambientales sobre el crecimiento de pollos durante la fase inicial de vida, criados en sistemas de producción ecológica. Febrero, 2019.