



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TESIS DOCTORAL

**EFFECTOS DE LA MATERIA PRIMA Y EL
PROCESO DE SECADO-MADURACIÓN SOBRE
LA CALIDAD DEL JAMÓN**

Presentada por: M^a Jesús Domínguez Gómez

Dirigida por: M^a Dolores Raigón Jiménez

Programa de Doctorado en Química

Valencia, noviembre de 2020

AGRADECIMIENTOS

El camino ha sido largo y no siempre fácil, pero he tenido la gran suerte de rodearme de grandes profesionales y mejores personas. Empezando por la Doctora M^a Dolores Raigón que aceptó ser mi directora sin conocerme y desde el primer día ha estado siempre ahí, en especial en la última fase, donde he sentido en todo momento su apoyo y he podido ver su gran profesionalidad y grado de compromiso.

Si he llegado aquí, es gracias a la persona que me puse al inicio del camino, Gerardo Rojo. Gracias por creer siempre en mí y darme fuerzas con tus palabras.

Quisiera agradecer también a Loles, haberme ayudado en la fase experimental, siempre con la mejor predisposición y máxima paciencia para resolver mis dudas, las de otros compañeros o la de cualquier otra persona que estuviese presente en el laboratorio. En esta fase de laboratorio también quiero agradecer a M^a Luisa Luisa Ruiz del laboratorio Agrario de Burjassot, a Patricia Esteve y a Estela Moreno, la ayuda prestada con la cromatografía.

Como no, agradecer a “Jamones Casa Conejos” su buen hacer y responsabilidad durante todo el proceso de esta Tesis. Gracias a toda la familia, pero en especial a Laura Conejos por su buena disposición, “sin tu ayuda y voluntad esto no hubiese sido posible”. Y sobre todo gracias por contribuir y apostar por la elaboración de productos tradicionales y de calidad, cuidando y respetando siempre el medioambiente y las mejores condiciones de los animales en origen.

Tengo que dar las gracias también a Antonio Calvo, Decano adjunto de la Facultad de Veterinaria y Ciencias Experimentales de la UCV, por tener siempre palabras de ánimo y apoyo en los buenos y malos momentos y por haber confiado en mí desde el principio.

Quiero agradecer a mis suegros y mis padres haberse hecho cargo de mis hijos cada vez que la mami se tenía que ir a trabajar en el Doctorado. Y a mi marido, Lluís, por haber tenido que hacer de padre soltero para que pudiese llevar a cabo el proyecto que se ha convertido en realidad. Gracias por tu apoyo y paciencia.

Agradecimiento especial a mis padres, Francisco y Martina, por acogerme de nuevo en casa como estudiante para que pudiese escribir y dar forma al trabajo que aquí se presenta y por haberme enseñado que la actitud y el espíritu de sacrificio son imprescindibles cuando se quiere conseguir algo. No me quiero olvidar de mi hermana, Cristina, porque en la distancia, siempre la he sentido cerca con sus palabras de ánimo. Ha sido el mejor referente y apoyo que podría tener.

Este trabajo se lo quiero dedicar a mis hijos, Lluís y Asier, que han llenado mi vida de alegría e ilusión. Con esfuerzo, actitud positiva y una sonrisa, todo se consigue de forma más fácil. ¡Os quiero!

RESUMEN

El jamón es un alimento con unas cualidades organolépticas muy apreciadas por los consumidores, obtenido sin necesidad de alta tecnificación, lo cual podría hacer pensar *a priori* en un proceso sencillo, pero que en realidad implica una serie de cambios físico-químicos complejos derivados de reacciones físicas, químicas, enzimáticas e incluso microbiológicas, que definen el producto final en función de factores pre y post tratamiento como la materia prima, la adición de sustancias conservantes, el tiempo y las temperaturas y la aireación del proceso de curación-secado.

La materia prima es un elemento clave en cualquier proceso de transformación alimentaria, ya que de su composición y cualidades dependerá el producto final. En el caso del jamón, el origen de la materia prima, puede proceder de sistemas ganaderos convencionales, donde la producción es intensiva y la alimentación está basada en piensos comerciales. En el caso de cerdos procedentes de ganadería ecológica, los animales están sujetos a las condiciones marcadas por la normativa europea de producción ecológica (densidad de carga ganadera, zonas al aire libre, alimentación, profilaxis, etc.), cerrando un ciclo, donde se respeta el medio ambiente y el bienestar animal. Para el caso de figuras de calidad, las explotaciones ganaderas también deben cumplir los requisitos indicados en los pliegos de condiciones, así para la DOP "Jamón y Paleta de Teruel", los cerdos obtenidos a partir de cruces que emplean la raza Duroc como macho finalizador, para favorecer la presencia de grasa intramuscular, son criados de forma intensiva, con una alimentación basada en al menos un 50% de cereales de la región.

Otro elemento que define al jamón curado es el proceso de elaboración, que se inicia con la salazón, ya que las cantidades de sal empleadas influirán en las características sensoriales y químicas del producto, así como la adición o no de sustancias como sales nítricas. Durante el reposo o post salado se produce la difusión de la sal, de la superficie al interior, seguido del secado-maduración donde la duración (procesos cortos o largos), el sistema de secado y/o aireación (natural o con ventana abierta *versus* cámara con condiciones controladas) y la temperatura son elementos clave en el desarrollo de las cualidades organolépticas.

El principal objetivo del presente estudio es aportar resultados sobre la evolución en la composición de la carne, a lo largo del proceso de secado-maduración, en la elaboración de jamón curado, teniendo como variables del estudio, la procedencia del pernil (de granjas ganaderas convencionales, ecológicas o de la DOP Teruel), tecnología aplicada en el proceso de secado (cumpliendo los requisitos para la certificación ecológica), así como la influencia

RESUMEN

del sistema de secado (ventana abierta o cámara), evaluando los parámetros que permiten clasificar las diferentes variables.

Para ello se analizan un total de 36 jamones de cerdo blanco, tomando 12 de cada una de las procedencias objeto de estudio (convencional, ecológico y DOP Teruel), destinando 6 jamones de cada una para el secado natural y otros 6 para el secado en cámara siguiendo el mismo proceso de obtención de jamón curado para las tres procedencias, excepto la no adición de sales nítricas, en el producto ecológico, donde sólo se emplea sal marina ecológica. Los parámetros analizados son humedad, minerales totales, sodio, hierro, proteína, grasa, perfil de ácidos grasos, nitratos y nitritos, detección de antibióticos y compuestos de la fracción volátil. Los parámetros de evaluación se determinan en cuatro momentos del proceso de secado-curación del jamón, en el momento de la recepción, en el post salado, en el secado y al final de proceso cuando han transcurrido 18.5 meses.

Los resultados indican que los parámetros de color L^* , b^* y C^* son mayores en los jamones procedentes de sistemas de producción convencional, en particular en los jamones DOP Teruel, donde además se incluye el parámetro a^* . Los jamones de sistemas de producción convencional se caracterizan por presentar valores más elevados de humedad, grasa, proteína y cenizas, así como un contenido en ácidos grasos saturados mayor. Esto repercute en los valores de los índices de calidad de la grasa, con connotaciones negativas en el índice de aterogenicidad, de trombogenicidad o en la relación ω_6/ω_3 , sobre todo si los jamones se secan en cámara. Los jamones ecológicos presentan valores más bajos de los componentes químicos analizados y niveles superiores de AGMI y AGPI, así como índices positivos de calidad de la grasa como el de ácidos grasos buenos para la salud o la relación AGPI/AGS, especialmente si se secan al natural. Generando jamones con una mayor presencia de compuestos volátiles.

La clasificación de los jamones, en función de la procedencia y el sistema de secado, se alcanza con éxito tomando los parámetros de color, ácidos grasos y los componentes terpenoides de la fracción volátil. El estudio de componentes principales permite clasificar los jamones convencionales como aquellos con mayor contenido en proteína, L^* , cenizas, Fe, Na, H^* , humedad, grasa, nitratos y nitritos, así como por los ácidos grasos behénico, palmítico, esteárico y mirístico. Los jamones ecológicos se caracterizarían por sus valores de a^* , b^* y C^* , así como por la presencia de linoleico y linolénico y los jamones DOP Teruel serían aquellos con altos valores de ácidos grasos heptadecenoico, palmitoleico y oleico.

Palabras clave: ecológico, natural, ventana, curado, DOP

ABSTRACT

Ham is a food with organoleptic qualities highly appreciated by consumers, obtained without the need of high technology, which could suggest *a priori* a simple process, but which actually involves a series of complex physico-chemical changes derived from reactions physical, chemical, enzymatic and even microbiological, which define the final product based on pre and post treatment factors such as raw material, the addition of preservatives, time and temperatures and the aeration of the curing-drying process.

The raw material is a key element in any food transformation process, since the final product will depend on its composition and qualities. In the case of ham, the origin of the raw material can come from conventional livestock systems, where production is intensive and food is based on commercial feed. In the case of pigs from organic farming, the animals are subject to the conditions set by the European organic production regulations (stocking density, outdoor areas, feeding, prophylaxis, etc.), closing a cycle, where the environment and animal welfare is respected. In the case of quality figures, livestock farms must also meet the requirements indicated in the specifications, as well as for the PDO "Jamón y Paleta de Teruel", pigs obtained from crosses that use the Duroc breed as finisher male, to favor the presence of intramuscular fat, are raised intensively, with a diet based on at least 50% of cereals from the region.

Another element that defines cured ham is the production process, which begins with salting, since the amounts of salt used will influence the sensory and chemical characteristics of the product, as well as the addition or not of substances such as nitric salts. During rest or post-salting, the diffusion of the salt takes place, from the surface to the interior, followed by drying-maturing where the duration (short or long processes), the drying and / or aeration system (natural or with an open window *versus* chamber with controlled conditions) and temperature are key elements in the development of organoleptic qualities.

The main objective of this study is to provide results on the evolution in the composition of the meat, throughout the drying-maturation process, in the elaboration of dry-cured ham, having as variables of the study, the origin of the leg (from cattle farms conventional, ecological or of the Teruel PDO), technology applied in the drying process (meeting the requirements for ecological certification), as well as the influence of the drying system (open window or chamber), evaluating the parameters that allow classifying the different variables.

ABSTRACT

For this, a total of 36 white pig hams are analyzed, taking 12 from each of the sources under study (conventional, organic and PDO Teruel), allocating 6 hams of each for natural drying and another 6 for drying under controlled conditions of temperature and relative humidity following the same process for obtaining cured ham for the three sources, except for the non-addition of nitric salts in the organic product, where only organic sea salt is used. The parameters analyzed are moisture, total minerals, sodium, iron, protein, fat, profile of fatty acids, nitrates and nitrites, detection of antibiotics and compounds of the volatile fraction. The evaluation parameters are determined in four moments of the drying-curing process of the ham, at the time of reception, in the post-salting, in the drying and at the end of the process when 18.5 months have elapsed.

The results indicate that the color parameters L^* , b^* and C^* are higher in hams from conventional production systems, particularly in PDO Teruel hams, where the a^* parameter is also included. Hams from conventional production systems are characterized by higher moisture, fat, protein and ash values, as well as a higher saturated fatty acid content. This affects the values of the fat quality indices, with negative connotations in the atherogenicity index, thrombogenicity or in the ω_6 / ω_3 ratio, especially if the hams dried in controlled conditions. Organic hams present lower values of the chemical components analyzed and higher levels of MUFA and PUFA, as well as positive indices of fat quality such as fatty acids good for health or the PUFA / SFA ratio, especially in natural drying. Generating hams with a greater presence of volatile compounds.

The classification of hams, depending on the origin and the drying system, is successfully achieved by taking the parameters of color, fatty acids and the terpenoid components of the volatile fraction. The study of main components makes it possible to classify conventional hams as those with the highest content in protein, L^* , ashes, Fe, Na, H^* , moisture, fat, nitrates and nitrites, as well as by behenic, palmitic, stearic and myristic. Organic hams would be characterized by their a^* , b^* and C^* values, as well as by the presence of linoleic and linolenic levels, and DOP Teruel hams would be those with high levels of heptadecenoic, palmitoleic and oleic fatty acids.

Keywords: eco-friendly, natural, window, cured, PDO

RESUM

El pernil és un aliment amb unes qualitats organolèptiques molt apreciades pels consumidors, obtingut sense necessitat d'alta tecnificació, la qual cosa podria fer pensar *a priori* en un procés senzill, però que en realitat implica una sèrie de canvis físic-químics complexos derivats de reaccions físiques, químiques, enzimàtiques i fins i tot microbiològiques, que defineixen el producte final en funció de factors pre i post tractament com la matèria primera, l'addició de substàncies conservants, el temps i les temperatures i la ventilació del procés de curació-assecatge.

La matèria primera és un element clau en qualsevol procés de transformació alimentària, ja que de la seua composició i qualitats dependrà el producte final. En el cas del pernil, l'origen de la matèria primera, pot procedir de sistemes ramaders convencionals, on la producció és intensiva i l'alimentació està basada en pinsos comercials. En el cas de porcs procedents de ramaderia ecològica, els animals estan subjectes a les condicions marcades per la normativa europea de producció ecològica (densitat de càrrega ramadera, zones a l'aire lliure, alimentació, profilaxi, etc.), tancant un cicle, on es respecta el medi ambient i el benestar animal. Per al cas de figures de qualitat, les explotacions ramaderes també han de complir els requisits indicats en els plecs de condicions, així per a la DOP "Jamón y paleta de Teruel", els porcs obtinguts a partir de creuament que empren la raça Duroc com a mascle finalitzador, per a afavorir la presència de greix intramuscular, són criats de manera intensiva, amb una alimentació basada en almenys un 50% de cereals de la regió.

Un altre element que defineix al pernil curat és el procés d'elaboració, que s'inicia amb la salaó, ja que les quantitats de sal emprades influiran en les característiques sensorials i químiques del producte, així com l'addició o no de substàncies com a sals nítriques. Durant el repòs o post salat es produeix la difusió de la sal, de la superfície a l'interior, seguit de l'assecatge-maduració on la duració (processos curts o llargs), el sistema d'assecatge i/o ventilació (natural o amb finestra oberta *versus* cambra amb condicions controlades) i la temperatura són elements clau en el desenvolupament de les qualitats organolèptiques.

El principal objectiu del present estudi és aportar resultats sobre l'evolució en la composició de la carn, al llarg del procés d'assecatge-maduració, en l'elaboració de pernil curat, tenint com a variables de l'estudi, la procedència del pernil (de granges ramaderes convencionals, ecològiques o de la DOP Teruel), tecnologia aplicada en el procés d'assecatge (complint els requisits per a la certificació ecològica), així com la influència del sistema d'assecatge (finestra oberta o cambra), avaluant els paràmetres que permeten classificar les diferents variables.

RESUM

Per a això s'analitzen un total de 36 pernils de porc blanc, prenent 12 de cadascuna de les procedències objecte d'estudi (convencional, ecològic i DOP Teruel), destinant 6 pernils de cadascuna per a l'assecatge natural i altres 6 per a l'assecatge en cambra seguint el mateix procés d'obtenció de pernil curat per a les tres procedències, excepte la no addició de sals nítriques, en el producte ecològic, on només s'empra sal marina ecològica. Els paràmetres analitzats són humitat, minerals totals, sodi, ferro, proteïna, greix, perfil d'àcids grassos, nitrats i nitrits, detecció d'antibiòtics i compostos de la fracció volàtil. Els paràmetres d'avaluació es determinen en quatre moments del procés d'assecatge-curació del pernil, en el moment de la recepció, en el post salat, en l'assecatge i al final de procés quan han transcorregut 18.5 mesos.

Els resultats indiquen que els paràmetres de color L^* , b^* i C^* són majors en els pernils procedents de sistemes de producció convencional, en particular en els pernils DOP Teruel, on a més s'inclou el paràmetre a^* . Els pernils de sistemes de producció convencional es caracteritzen per presentar valors més elevats d'humitat, greix, proteïna i cendres, així com un contingut en àcids grassos saturats major. Això repercuteix en els valors dels índexs de qualitat del greix, amb connotacions negatives en l'índex de aterogenicitat, de trombogenicitat o en la relació $\omega 6/\omega 3$, sobretot si els pernils s'assequen en cambra. Els pernils ecològics presenten valors més baixos dels components químics analitzats i nivells superiors de AGMI i AGPI, així com índexs positius de qualitat del greix com el d'àcids grassos bons per a la salut o la relació AGPI/AGS, especialment si s'assequen al natural. Generant pernils amb una major presència de compostos volàtils.

La classificació dels pernils, en funció de la procedència i el sistema d'assecatge, s'aconsegueix amb èxit prenent els paràmetres de color, àcids grassos i els components terpenoides de la fracció volàtil. L'estudi de components principals permet classificar els pernils convencionals com aquells amb major contingut en proteïna, L^* , cendres, Fe, Na, H*, humitat, greix, nitrats i nitrits, així com pels àcids grassos behènic, palmític, esteàric i mirístic. Els pernils ecològics es caracteritzarien pels seus valors de a^* , b^* i C^* , així com per la presència de linoleic i linolènic i els pernils DOP Teruel serien aquells amb alts valors d'àcids grassos heptadecenoic, palmitoleic i oleic.

Paraules clau: ecològic, natural, finestra, curat, DOP

ÍNDICE



ÍNDICE GENERAL

	Página
1. INTRODUCCIÓN	
1.1. EL JAMÓN CURADO	1
1.2. PROCESO DE ELABORACIÓN DE JAMÓN CURADO	3
1.2.1. Recepción de materia prima	5
1.2.1.1. Influencia de factores genéticos en la calidad de la carne	8
1.2.1.2. Influencia de la edad y el sexo en la calidad de la carne	10
1.2.1.3. Influencia de la producción y manejo en la calidad de la carne	11
1.2.1.4. Influencia de la alimentación en la calidad de la carne	12
1.2.1.5. Influencia de factores ante mortem y post mortem en la calidad de la carne	14
1.2.2. Fase de salado	23
1.2.2.1. Inconvenientes de la fase de salado. Riesgos asociados al empleo de nitratos y nitritos	27
1.2.2.2. Inconvenientes de la fase de salado. Contenido en sal del jamón	28
1.2.3. Fase de lavado-cepillado	28
1.2.4. Fase de post salado	29
1.2.5. Fase secado-maduración	30
1.3. CALIDAD DIFERENCIADA EN JAMONES Y PALETAS. JAMONES CONVENCIONALES Y ECOLÓGICOS	37
1.4. PRODUCTOS CÁRNICOS CURADOS EN ESPAÑA. DATOS DEL SECTOR	39
2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO	
2.1. OBJETIVOS	43
2.2. PLAN DE TRABAJO	45
3. MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. PROCEDENCIA Y TRAZABILIDAD DE LAS MUESTRAS	48
3.2. CONDICIONES DE LAS INSTALACIONES DE SECADO	51
3.3. TOMA DE MUESTRAS	56
3.4. METODOLOGÍA ANALÍTICA	59
3.4.1. Recepción y tratamiento de la muestra	59
3.4.2. Determinación de los parámetros de color	59
3.4.3. Determinación de la humedad	60
3.4.4. Determinación del contenido mineral total	60
3.4.5. Determinación del contenido en grasa	61
3.4.6. Determinación del contenido en proteína	62
3.4.7. Determinación del contenido en sodio	63
3.4.8. Determinación del contenido en hierro	64
3.4.9. Determinación del perfil lipídico	64
3.4.10. Determinación del índice de aterogenicidad	65
3.4.11. Determinación del índice de trombogenicidad	66
3.4.12. Determinación de la presencia de antibióticos	66
3.4.13. Determinación del contenido en nitratos y nitritos	67
3.4.14. Determinación de la fracción volátil	68
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS	69
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS	71
4.1.1. Evaluación de los parámetros del color	72

	Página	
4.1.2.	Evaluación de la humedad, grasa y proteína	87
4.1.3.	Evaluación del contenido mineral total, sodio y hierro	106
4.1.4.	Evaluación del perfil lipídico de la grasa	117
4.1.5.	Evaluación de los índices de calidad de la grasa	137
4.1.6.	Evaluación de presencia de antibióticos	151
4.1.7.	Evaluación del contenido en nitratos y nitritos	153
4.1.8.	Evaluación de los componentes volátiles	157
4.2.	RELACIONES ENTRE VARIABLES	193
4.2.1.	Relaciones entre parámetros del color	193
4.2.2.	Relaciones entre parámetros con la humedad	205
4.2.3.	Relaciones entre parámetros con la grasa	211
4.2.4.	Relaciones entre parámetros con la proteína	218
4.2.5.	Relaciones entre parámetros con el contenido en minerales totales	222
4.2.6.	Relaciones entre el ácido esteárico, oleico, linoleico, araquidónico y linolénico con la fracción aromática	225
4.3.	ANÁLISIS DISCRIMINANTE	233
4.3.1.	Clasificación del jamón en función de la procedencia	233
4.3.2.	Clasificación del jamón en función del sistema de secado	243
4.4.	ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	246
5.	CONCLUSIONES	253
6.	BIBLIOGRAFÍA	255

ÍNDICE DE TABLAS

	Página	
Tabla 1	Denominación de paleta y jamón curado en función del tiempo de elaboración del proceso	2
Tabla 2	Diversidad en jamón curado en países distintos de España	3
Tabla 3	Composición nutricional de la carne de cerdo	7
Tabla 4	Relación de razas de la especie porcina en función de su censo y organización	8
Tabla 5	Características más representativas de las razas integradas de cerdo blanco de España	9
Tabla 6	Relación entre sabores y precursores del aroma en la carne	21
Tabla 7	Control y formación de diferentes aspectos en jamón curado elaborado con y sin nitratos	25
Tabla 8	Exopeptidas y generación de compuestos precursores de aromas en jamón	31
Tabla 9	Actuación de catepsinas y calpaínas sobre diferentes estructuras en función del pH	32
Tabla 10	Compuestos volátiles generados en el jamón curado a partir de lípidos y su relación con la síntesis de aromas	36
Tabla 11	Compuestos volátiles generados en el jamón curado a partir de proteínas y su relación con la síntesis de aromas	37
Tabla 12	Variación (%), del año 2018 al 2019, del valor económico y volumen de consumo en función del tipo de carne	40
Tabla 13	Consumo doméstico del total de carne en España en 2019. Variación (%) del consumo entre 2019 y 2018	41
Tabla 14	Resultados de los parámetros de calidad del aire	53
Tabla 15	Codificación de las cuatro muestras, en relación del origen de la materia prima y del tipo de secado	59
Tabla 16	Resultados promedio y error estándar de los parámetros del color en función del sistema productivo y la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	73
Tabla 17	Resultados promedio y error estándar de los parámetros diferenciales del color (ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔC^* , ΔH^* y ΔE) entre el final del proceso y la recepción, en función de la procedencia y del sistema de secado	85
Tabla 18	Resultados promedio y error estándar del contenido en humedad (%), grasa (%) y proteína (%) en función del sistema productivo y la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	90
Tabla 19	Valores de humedad (%) en jamón curado según diversos autores en función de la genética, el tipo de músculo y el tiempo de secado	91
Tabla 20	Resultados promedio y error estándar del contenido en cenizas (%), hierro (mg/100 g jamón) y sodio (mg/100 g jamón) en función del sistema productivo y la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	108
Tabla 21	Contenido en cloruro sódico (%) en el momento final, en función de la procedencia y del sistema de secado	116
Tabla 22	Resultados promedio y error estándar del contenido en ácidos grasos saturados minoritarios (%) en función del sistema productivo y la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	118

	Página
Tabla 23	119
Tabla 24	126
Tabla 25	132
Tabla 26	136
Tabla 27	139
Tabla 28	154
Tabla 29	161
Tabla 30	163
Tabla 31	166
Tabla 32	169
Tabla 33	173
Tabla 34	173
Tabla 35	177
Tabla 36	179
Tabla 37	181

	Página	
Tabla 38	Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de los ácidos grasos en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	183
Tabla 39	Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de heterocíclicos y otros componentes en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	185
Tabla 40	Interacciones que presentan diferencias estadísticamente significativas, entre variables, para los componentes de la fracción volátil	187
Tabla 41	Aromas mayoritarios en el jamón secado en ventana	190
Tabla 42	Componentes aromáticos mayoritarios en el jamón en función del tipo de secado, al natural o en cámara.	191
Tabla 43	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el parámetro L* de color	194
Tabla 44	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el parámetro a* del color	197
Tabla 45	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el parámetro b* del color	199
Tabla 46	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el croma (C*) del color	202
Tabla 47	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el tono (H*) del color	204
Tabla 48	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en humedad	207
Tabla 49	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en grasa <i>versus</i> los parámetros de composición, los ácidos grasos y los ésteres, terpenos y alcoholes de la fracción volátil	212
Tabla 50	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en grasa <i>versus</i> aldehídos, cetonas, alcanos, ácidos grasos y resto de la fracción volátil	213
Tabla 51	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en AGS <i>versus</i> la fracción volátil	214
Tabla 52	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en AGMI <i>versus</i> la fracción volátil	216
Tabla 53	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en AGPI <i>versus</i> la fracción volátil	217
Tabla 54	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en proteína <i>versus</i> los parámetros de composición, los ésteres, terpenos y alcoholes de la fracción volátil	219
Tabla 55	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en proteína <i>versus</i> aldehídos, cetonas, alcanos, ácidos grasos y resto de la fracción volátil	221
Tabla 56	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en minerales totales <i>versus</i> los parámetros de composición, ésteres, terpenos, alcoholes y aldehídos de la fracción volátil	223
Tabla 57	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en proteína <i>versus</i> cetonas, alcanos, ácidos grasos y resto de la fracción volátil	224

	Página	
Tabla 58	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en el ácido graso esteárico <i>versus</i> la fracción volátil	226
Tabla 59	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en el ácido graso oleico <i>versus</i> la fracción volátil	227
Tabla 60	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en el ácido graso linoleico <i>versus</i> la fracción volátil	229
Tabla 61	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en el ácido graso linolénico <i>versus</i> la fracción volátil	230
Tabla 62	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en el ácido graso araquidónico <i>versus</i> la fracción volátil	232
Tabla 63	Valores de la función discriminante en la clasificación del jamón, con el total de 16 variables, en función de la procedencia	234
Tabla 64	Resultados de la clasificación del jamón, con el total de 16 variables, en función de la procedencia	235
Tabla 65	Valores de la función discriminante en la clasificación del jamón, con las variables de la fracción volátil, en función de la procedencia	236
Tabla 66	Resultados de la clasificación del jamón, con el total de las variables de la fracción volátil, en función de la procedencia	236
Tabla 67	Valores de la función discriminante en la clasificación del jamón, con las variables de los ácidos grasos, en función de la procedencia	237
Tabla 68	Resultados de la clasificación del jamón, con el total de las variables de la fracción volátil, en función de la procedencia	237
Tabla 69	Valores de la función discriminante en la clasificación del jamón, con las variables reducidas, en función de la procedencia	239
Tabla 70	Resultados de la clasificación del jamón, con las variables reducidas, en función de la procedencia	240
Tabla 71	Valores de la función discriminante en la clasificación del jamón, sin variables de componentes volátiles, en función de la procedencia	241
Tabla 72	Resultados de la clasificación del jamón, sin variables de componentes volátiles, en función de la procedencia	242
Tabla 73	Resultados de la clasificación del jamón, con las variables de componentes volátiles, en función de del sistema de secado y procedencia	243
Tabla 74	Resultados de la clasificación del jamón, con el total de los ácidos grasos, en función de del sistema de secado y procedencia	244
Tabla 75	Resultados de la clasificación del jamón, con parámetros de color ácidos grasos y componentes terpenoides, en función de del sistema de secado y procedencia	245

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1	4
Figura 2	16
Figura 3	18
Figura 4	19
Figura 5	23
Figura 6	27
Figura 7	34
Figura 8	46
Figura 9	52
Figura 10	57
Figura 11	58
Figura 12	58
Figura 13	74
Figura 14	74
Figura 15	76
Figura 16	77
Figura 17	79
Figura 18	80
Figura 19	81
Figura 20	83
Figura 21	83
Figura 22	86
Figura 23	92
Figura 24	93

	Página	
Figura 25	Materia seca (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia	95
Figura 26	Interacción entre el momento del proceso y el sistema de secado (izquierda) y entre la procedencia y el sistema de secado (derecha) para el contenido en humedad del jamón	96
Figura 27	Grasa (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia	97
Figura 28.	Grasa (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-curado	98
Figura 29	Grasa (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	99
Figura 30	Interacción entre el momento del proceso y el sistema de secado (izquierda) y entre el sistema productivo y el sistema de secado (derecha) para el contenido en grasa del jamón	100
Figura 31	Proteína (%) en la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia	101
Figura 32	Proteína (%) en la carne de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-curado	102
Figura 33	Proteína (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	104
Figura 34	Proteína (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado	105
Figura 35	Cenizas (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-curado (izquierda). Interacción entre el momento del proceso y la procedencia (derecha)	108
Figura 36	Interacción entre la procedencia y el sistema de secado (izquierda) y entre el sistema productivo y el sistema de secado (derecha) para el contenido en minerales totales del jamón	110
Figura 37	Contenido en hierro (mg/100 g de fracción comestible) de la carne de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-curado (izquierda). Interacción entre el momento del proceso y la procedencia (derecha)	111
Figura 38	Interacción entre el momento del proceso y el sistema de secado para el contenido en hierro del jamón	112
Figura 39	Contenido en sodio (mg/100 g de fracción comestible) de la carne de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-curado	113
Figura 40	Sodio (mg/100 g de fracción comestible) de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	114
Figura 41	Sodio (mg/100 g de fracción comestible) de la carne de jamón y nivel de significación en función del sistema de secado y del momento de secado-maduración	114
Figura 42	Sodio (mg/100 g de fracción comestible) de la carne de jamón y nivel de significación en función del sistema de secado y la procedencia	115
Figura 43	Ácido graso mirístico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	120

	Página	
Figura 44	Ácido graso mirístico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	121
Figura 45	Ácido graso palmítico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	122
Figura 46	Ácido graso palmítico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	122
Figura 47	Ácido graso esteárico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	123
Figura 48	Ácido graso esteárico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	124
Figura 49	Ácido graso palmitoleico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	127
Figura 50	Ácido graso palmitoleico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	128
Figura 51	Ácido graso oleico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	130
Figura 52	Ácido graso oleico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	130
Figura 53	Ácidos grasos poliinsaturados (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	134
Figura 54	Ácidos grasos poliinsaturados (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	134
Figura 55	Distribución porcentual de las fracciones de los ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados de la grasa para el momento de la recepción y del jamón final para las tres procedencias	136
Figura 56	Índice de aterogenicidad (IA) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	140
Figura 57	Índice de aterogenicidad en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	141
Figura 58	Índice trombogénico (IT) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	142
Figura 59	Índice trombogénico (IT) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	143
Figura 60	Relación w6/w3 en la grasa de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado	145

	Página	
Figura 61	Índice de ácidos grasos beneficiosos para la salud (AGBS) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	146
Figura 62	Índice de ácidos grasos beneficiosos para la salud (AGBS) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	147
Figura 63	Relación AGPI/AGS en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	148
Figura 64	Relación AGPI/AGS en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	149
Figura 65	Relación linoleico/linolénico en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	150
Figura 66	Relación linoleico/linolénico en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	151
Figura 67	Nitratos (mg/100 g) en el jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y nitritos en el jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (derecha)	156
Figura 68	Generación de aromas a partir de alteraciones y degradación lipídica	158
Figura 69	Generación de aromas a partir de alteraciones y degradación proteica	159
Figura 70	Presencia de ésteres en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	162
Figura 71	Presencia de monoterpenos en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	165
Figura 72	Presencia de terpenos y derivados oxigenados del benceno en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	167
Figura 73	Presencia de alcoholes en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	170
Figura 74	Presencia de aldehídos en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	174
Figura 75	Presencia de aldehídos (continuación) en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	174
Figura 76	Presencia de cetonas en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	178
Figura 77	Presencia de hidrocarburos alifáticos y aromáticos en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	180
Figura 78	Presencia de alcanos en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	182
Figura 79	Presencia de ácidos grasos en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	184
Figura 80	Presencia de componentes heterocíclicos, alcanfor y mentona en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	186

	Página
Figura 81	189
Figura 82	192
Figura 83	195
Figura 84	196
Figura 85	200
Figura 86	205
Figura 87	208
Figura 88	209
Figura 89	210
Figura 90	215
Figura 91	220
Figura 92	225
Figura 93	228
Figura 94	235
Figura 95	238
Figura 96	240
Figura 97	242
Figura 98	248
Figura 99	249

	Página
Figura 100 Gráficos de dispersión de los pesos de los componentes principales de parámetros de calidad de la grasa del jamón. Estudio global e individualizado por procedencia	250
Figura 101 Gráfico de dispersión de los pesos de los componentes principales de los compuestos volátiles	251
Figura 102 Gráficos de dispersión de los pesos de los componentes principales de los compuestos volátiles de la carne y del jamón	252

1. INTRODUCCIÓN

1.1. EL JAMÓN CURADO

El jamón es un alimento con unas cualidades organolépticas muy características, muy bien valoradas por los consumidores desde hace mucho tiempo (Resano *et al.*, 2009; Díaz-Caro *et al.*, 2019). El proceso de obtención emplea una de las técnicas más antiguas en la conservación de alimentos, el salado, que, combinado con un secado y maduración determinada, otorgan el sabor, aroma y textura tan característico y propio de este alimento (Resano *et al.*, 2010).

El jamón curado se caracteriza por un sabor ligeramente salado, un color rojo-marrón, una textura lo suficientemente firme para permitir un correcto corte y un aroma particular, que es el resultado de numerosas reacciones bioquímicas enzimáticas y no enzimáticas que se ven influidas principalmente por el origen del animal, así como por su alimentación y que se acaban de definir sobre todo durante la fase de secado y maduración (García-Esteban *et al.*, 2005; Čandek-Potokar y Škrlep, 2012).

Los productos cárnicos crudo-curados se definen como aquellos que reciben un tratamiento con sal y que posteriormente son secados en las condiciones ambientales que proceda para reducir los niveles de humedad del producto y dar lugar a procesos enzimáticos que permitan el desarrollo de características organolépticas específicas, procurando que a lo largo de su comercialización el producto sea estable (Real Decreto 474/2014). Dentro de este grupo de alimentos cárnicos se incluye el jamón y paleta, cecina, panceta curada, pechuga curada o lomo embuchado entre otros. El proceso de salazón al que son sometidos, puede ir acompañado de especias, condimentos y aditivos, posteriormente son lavados, pasando a una fase de reposo o post salado, seguida de una maduración y secado (y en ocasiones ahumado) durante el tiempo necesario para que desarrollen las características reológicas propias del mismo (Arnau *et al.*, 1990).

La obtención de los productos curados, en concreto del jamón y la paleta, se da tras un período en el que se favorece el secado de las materias primas cárnicas de las que proceden, siendo fundamental el tiempo del proceso para alcanzar las características finales que se quieran obtener (Jurado *et al.*, 2007). En función del tiempo de secado, se pueden identificar diferentes calidades del producto final (tabla 1).

1. INTRODUCCIÓN

El tiempo se contabiliza desde el comienzo en el proceso de salazón de la carne y acaba en la comercialización del producto acabado, sin tener en cuenta aquellos períodos en los que las condiciones interrumpen los procesos bioquímicos y difieren entre jamones y paletas.

Tabla 1. Denominación de paleta y jamón curado en función del tiempo de elaboración del proceso.

	Denominación	Período mínimo de elaboración (meses)
Jamones	Bodega o cava	9
	Reserva o añejo	12
	Gran Reserva	15
Paletas	Bodega o cava	5
	Reserva o añejo	7
	Gran Reserva	9

Fuente: Real Decreto 474/2014, de 13 de junio, por el que se aprueba la norma de calidad de derivados cárnicos (BOE, 2014)

La elaboración de jamón curado no es un proceso exclusivo de España, sino que son numerosos los países que lo realizan (tabla 2), obteniendo productos organolépticamente muy diferentes, dependiendo de diversos factores como: razas, alimentación de los animales, tiempo de procesado de una o varias fases, temperaturas de tratamiento, adición o no de sustancias, incorporación de ahumado, etc. (Resano *et al.*, 2011).

Pero sin duda, el jamón curado de origen español es uno de los que tiene más fama y reconocimiento por su sabor, flavor y textura, dando lugar a diferentes tipos de productos comercializados, donde se controla desde el sistema de cría de los animales hasta el sistema tradicional de secado y curación, dando lugar a los jamones con Denominación de Origen Protegida (DOP), entre los que se encuentran los jamones procedentes de cerdos de raza ibérica o sus cruces y cerdos de raza blanca para la elaboración, de “Jamón y paleta de Teruel” (Cilla *et al.*, 2006). Otras figuras de calidad como Identificaciones Geográficas Protegidas (IGP) o la Especialidad Tradicional Garantizada como la de “Jamón serrano” responden a demandas de los consumidores frente a este tipo de alimento (Resano *et al.*, 2012).

1. INTRODUCCIÓN

Tabla 2. Diversidad en jamón curado en países distintos de España.

Denominación	País	Características más destacadas del proceso de curado
San Daniele (DOP)	Italia	La pieza es golpeada a lo largo de la curación
Jinhua	(Zhejiang) China	Proceso de salado a 5-10 °C de temperatura. Lavado y secado al sol
Jamón de Parma (DOP)	Italia	No se permiten sales nitrificantes. Dos fases de salado (1 mes y medio total), 2 meses de secado y 12 de bodega
<i>Kraški Pršut</i> (IGP)	Eslovenia	Salazón con sal gruesa marina. Curación mínima de 12 meses
Jamón de Bayona (IGP)	Francia	Raza de cerdo <i>Large White</i> , criado en semi libertad. Duración del salado, todo el invierno
Jamón de Virginia	EEUU	De 1 a 3 meses de salado. Consumo al horno, frito o hervido
Jamón de la Selva Negra	Alemania	Sin hueso. Macerado en salmuera con ajo, cilantro y pimienta negra. Ahumado
Jamón de las Ardenas (IGP)	Bélgica	Macerado en salmuera 12-21 días y ahumado
Jamón crudo argentino	Argentina	Similar al español. 12 meses de curación
Presunto ibérico	Portugués	Similar al jamón español
Jamón de cerdo mangalica	España-Hungría	Similar al español. Empleo de raza porcina mangalica. Alto porcentaje graso, curación lenta, mínimo 22 meses

1.2. PROCESO DE ELABORACIÓN DE JAMÓN CURADO

La figura 1 muestra el diagrama de flujo general del proceso de elaboración de jamón curado, contemplando los aspectos más relevantes que de forma restrictiva se tienen que alcanzar en el proceso de obtención de jamón ecológico. Se muestran los parámetros de control más influyentes, como son la temperatura, la humedad relativa (HR) y la actividad del agua (a_w).

A lo largo del proceso de elaboración del jamón curado se producen una serie de modificaciones, principalmente reacciones bioquímicas que provocarán cambios en la textura, sabor y aroma del producto final. Se trata de reacciones enzimáticas como la proteólisis (hidrólisis de proteínas musculares), la lipólisis (hidrólisis de triglicéridos intramusculares y fosfolípidos del tejido adiposo), la glucólisis y las modificaciones de nucleótidos. También se dan reacciones no enzimáticas como la reacción de Maillard, la degradación de Strecker y oxidaciones (Arnau *et al.*, 1990; Toldrá y Aristoy, 2010).

1. INTRODUCCIÓN

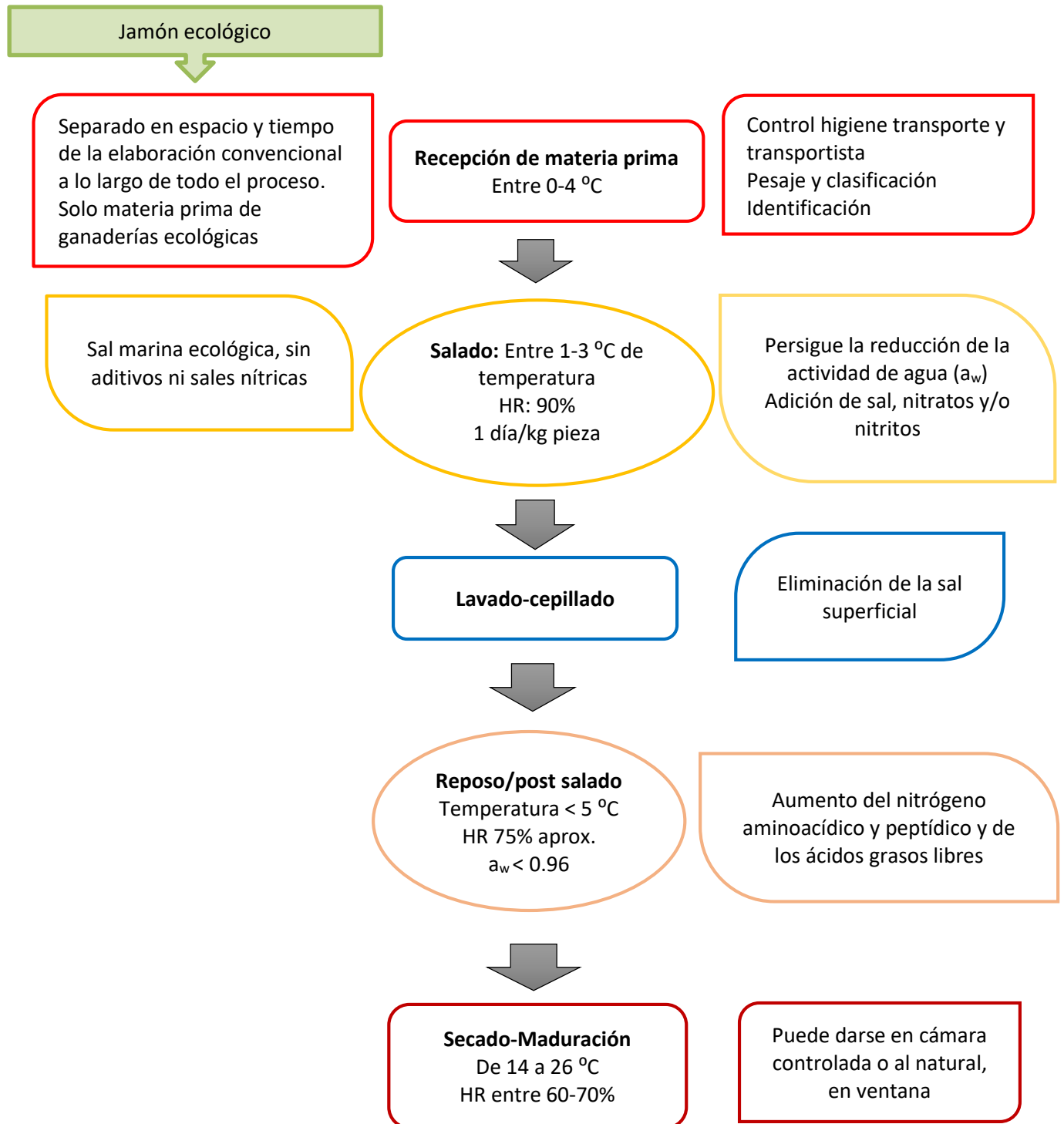


Figura 1. Diagrama de flujo para la obtención de jamón curado de cerdo blanco.

Para elaborar el producto cárnico curado el secadero puede recibir la extremidad posterior, cortada a la altura de la sínfisis isquiopubiana, o la extremidad anterior, seccionada a nivel de la articulación escápulo humeral y húmero-radial con mano y hueso, según si se elabora jamón o paleta respectivamente, pero en ambos casos las piezas deben ser íntegras y proceder de cerdos adultos. Posteriormente, son sometidas a un proceso de salazón donde se pueden incluir especias, condimentos y aditivos. A continuación, se lleva a cabo un curado-madurado que otorga al producto las características deseadas (Real Decreto 4/2014; Real Decreto 474/2014). Si el producto que se va a elaborar es ecológico no podrán añadirse aditivos tales como nitratos y/o nitritos ya que como marca la legislación, el empleo de ingredientes no ecológicos procedentes de la síntesis química está restringido, debiendo emplearse únicamente en casos imprescindibles por razones tecnológicas (Reglamento UE 848/2018).

Las características del producto final vendrán definidas por aspectos como la raza de los animales, peso, edad, sistema de producción, así como por el proceso tecnológico (Hui, 2012).

1.2.1. Recepción de materia prima

Es fundamental la identificación de la materia prima para asegurar la trazabilidad del producto, sobre todo, en el caso de la materia prima de procedencia ecológica, ya que ha de asegurarse que no entra en contacto, ni en espacio, ni en tiempo, con productos en conversión o no ecológicos (Reglamento UE 848/2018). Además, a fin de asegurar las correctas condiciones de higiene, en todos los casos se debe comprobar que la temperatura de llegada del producto esté entre 0 y 4 °C y que las condiciones de transporte hayan sido higiénicas, asegurando el mantenimiento de la temperatura, así como una limpieza y orden adecuados en el camión, dando cumplimiento a las exigencias del plan de control de materias primas y proveedores y al plan de mantenimiento de la cadena de frío que las empresas del sector agroalimentario han de tener implantados, entre otros requisitos generales de higiene y trazabilidad.

Otro aspecto importante a controlar es la correcta clasificación en función del tamaño, peso y contenido graso, pues el tiempo que ha de pasar en la fase de salado va a depender de estos factores (García-Gil *et al.*, 2014).

1. INTRODUCCIÓN

En la calidad de la carne se incluyen propiedades inherentes que son decisivas para su idoneidad en el consumo directo, procesado, almacenado o comercio minorista. Los principales atributos relacionados con la calidad de la carne son la seguridad, la composición nutricional (contenido en proteínas, grasas y perfil lipídico), el sabor, la textura, el color, la capacidad de retención de agua y la estabilidad oxidativa (Ramírez y Cava, 2007). A estos atributos, en las últimas décadas, se han sumado criterios de diversidad biológica y relacionados con problemas ambientales, éticos y de bienestar animal en la producción de carne (Dokmanovic *et al.*, 2015; Schaefer *et al.*, 2001). En consecuencia, la calidad debe considerarse como un complejo y multivariante escenario, que está influenciado por múltiples factores que interactúan entre sí, incluidas las condiciones bajo las cuales se produce la carne y la genética de los animales.

Nutricionalmente la carne de cerdo es reconocida por presentar un alto contenido en proteínas de alto valor biológico y vitaminas del grupo B, destacando la tiamina (vitamina B₁), piridoxina (vitamina B₆) y cianocobalamina (vitamina B₁₂). Es fuente de algunos minerales y oligoelementos como el zinc, potasio, fósforo, selenio y principalmente hierro hemo, así como de otros compuestos bioactivos (Hui, 2012).

La fracción lipídica en la carne de cerdo es elevada (aproximadamente un 23%) contribuyendo en un alto porcentaje, los ácidos grasos saturados y el colesterol, por lo que esta carne, en cantidades inapropiadas, puede tener efectos fisiológicos negativos (Toldrá y Reig, 2011), aunque la carga porcentual de los ácidos grasos monoinsaturados es elevada, principalmente por el ácido graso oleico. Por otro lado, la carne de cerdo no tiene hidratos de carbono, ni fibra, el glucógeno que pudiera contener en un inicio desaparece a lo largo del proceso *post mortem*. La tabla 3 muestra la composición nutricional por 100 g de porción comestible de la carne de cerdo (MAPA, 2014).

Tabla 3. Composición nutricional de la carne de cerdo.

	Cantidad por 100 g de porción comestible
Energía (kcal)	273.00
Proteínas (g)	16.60
Lípidos totales (g)	23.00
Ácidos grasos saturados (g)	7.43
Ácidos grasos monoinsaturados (g)	9.62
Ácidos grasos poliinsaturados (g)	3.51
Ácidos grasos ω 3 (g)	0.33
Ácido graso linoleico (ω 6) (g)	2.89
Colesterol (mg/1000 kcal)	72.00
Hidratos de carbono (g)	0.00
Fibra (g)	0.00
Agua (g)	60.40
Hierro (mg)	1.30
Sodio (mg)	760.00
Vitamina B ₆ (mg)	0.33
Vitamina B ₁₂ (μ g)	2.00
Equivalente de Niacina (mg)	7.60
Folatos (μ g)	4.00

Fuente: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Gobierno de España (2014).

Son muchos los factores que influyen en la composición de la carne de cerdo (Bonneau y Lebret, 2010; Reig *et al.*, 2013): factores productivos (tipo de producción, manejo y alimentación), factores intrínsecos a la carne (raza, edad del animal al sacrificio), así como aquellos implicados en la transformación (tanto *ante* como *post mortem*).

Para la determinación de la calidad de la carne no sólo se tienen en cuenta factores nutricionales, sino también la inocuidad de los alimentos. Es un requisito cada vez más exigido por los consumidores, la producción de alimentos libres de sustancias químicas (como los posibles residuos de medicamentos veterinarios), así como aditivos y sustancias químicas que puedan emplearse en su proceso tecnológico. Esto ha hecho que tanto los productos de la agricultura como de la ganadería ecológica hayan visto incrementada su demanda frente a los alimentos obtenidos de producciones intensivas (Raigón, 2020).

1.2.1.1. Influencia de factores genéticos en la calidad de la carne

Los factores genéticos en la composición y calidad de carne influyen principalmente a tres niveles; las diferencias entre razas y líneas, los efectos debidos a los genes mayores y la heredabilidad, y las correlaciones genéticas debidas a las variaciones dentro de razas. Estos elementos influyen en parámetros como el color, el contenido de grasa intramuscular, el veteadado, la capacidad de retención de agua, la jugosidad y el sabor (Mabry y Baas, 1998).

La tabla 4 muestra la relación de razas porcinas, catalogadas en España, en función de su censo y organización (Real Decreto 45/2019) y que se clasifican en:

- Razas autóctonas de fomento: originadas en España que se encuentran en expansión.
- Razas autóctonas en peligro de extinción: originadas en España y que se encuentran en grave regresión o a punto de desaparecer.
- Razas integradas en España: más de 20 años en España, con genealogía y controles de rendimiento conocidos y con reproductoras censadas, lo que permite desarrollar un programa de mejora.

Tabla 4. Relación de razas de la especie porcina en función de su censo y organización.

Grupo	Razas incluidas
Razas autóctonas de fomento	Ibérico Ibérico entrepelado Ibérico retinto
Razas autóctonas en peligro de extinción	Chato murciano Euskal txerria Gochu asturcelta Ibérico lampiño Ibérico manchado de jabugo Ibérico torviscal Porco celta Negra canaria Porc negre mallorquí
Razas integradas en España	<i>Duroc</i> <i>Landrace</i> <i>Large White</i> <i>Pietrain</i>

Fuente: Real Decreto 45/2019 (BOE, 2019).

1. INTRODUCCIÓN

Las razas de cerdo blanco que habitualmente se emplean son *Landrace*, *Large White*, *Pietrain* y *Duroc*. Este tipo de animales se caracterizan por tener una piel más fina, patas más gruesas en la zona de la caña y mejor índice de conversión, ya que en menos tiempo son capaces de presentar pesos más elevados debido a la selección genética de la que derivan. Un cerdo blanco en 8 meses puede alcanzar los 100 kg, mientras que un ibérico necesita como mínimo 14 meses (Serrano y Valencia, 2005). La diferencia más representativa en el cerdo ibérico es la presencia de grasa infiltrada o marmoleado, relacionada con una mayor palatabilidad de sus productos, característica que también posee la raza *Duroc*, de ahí que sea empleada en los cruces con cerdo ibérico, aumentando la parte magra sin perder grasa infiltrada y disminuyendo el tiempo de producción, gracias a su mejor índice de conversión (Ortiz *et al.*, 2019). En los cruces con cerdos blancos, aporta la cualidad de la grasa infiltrada.

La tabla 5 muestra un resumen de las características más representativas de la carne en función del tipo de raza de cerdo blanco de España (MAPA, 2020a).

Tabla 5 Características más representativas de las razas integradas de cerdo blanco de España.

Raza	Origen	Uso productivo principal	Características del producto
<i>Duroc</i>	EEUU	Carne	Grasa infiltrada en los productos de sus cruzamientos. Base de productos ibéricos y cerdo blanco
<i>Large White</i>	Inglaterra	Empleo para cruces, línea materna Buen rendimiento en cebo	Alto porcentaje de carne magra en programas de hibridación
<i>Landrace</i>	Dinamarca	Línea paterna o materna, tendencia a presentar carnes pálidas, suaves y exudativas Raza más utilizada para cruces industriales	Bajo nivel de engrasamiento, carne magra
<i>Pietrain</i>	Bélgica	Carne Macho finalizador	Muy musculado, elevado porcentaje de carne

En cuanto al empleo de razas como *Large White* o *Pietrain* en la elaboración de jamón curado, al presentar un contenido bajo en grasa en general y en grasa intramuscular en particular, favorecen el secado y penetración de la sal, pero hace que el producto presente una mayor resistencia al corte y masticación (Essén-Gustavsson *et al.*, 1992; Antequera *et al.*, 1992; Ruiz *et al.*, 2004).

En el caso de la raza *Duroc*, la heredabilidad con respecto al marmoleado de la carne es elevada por lo que cuando es empleada en la producción de jamón curado, el aroma que se genera es mejor valorado por los consumidores (Nuñez *et al.*, 1991; Guerrero *et al.*, 1996). Además, la raza *Duroc* presenta mayor adaptabilidad a la cría en sistemas extensivos, con cría al aire libre, dando carnes mejor conformadas a nivel muscular y con un mayor porcentaje de grasa intramuscular (Edward, 2005).

En la producción ecológica a la hora de seleccionar la raza de los animales, se priorizan aquellas que influyan en el incremento de la diversidad genética, buena adaptación al medio y mayor resistencia a enfermedades, primando siempre el bienestar de los animales, por lo que suelen ser de elección las razas rústicas y autóctonas (Reglamento UE 848/2018).

1.2.1.2. Influencia de la edad y el sexo en la calidad de la carne

La edad está directamente relacionada con el peso al sacrificio y repercute en el contenido graso, en la pigmentación y en el potencial proteolítico. En concreto, conforme avanza la edad de sacrificio de los animales aumenta la cantidad de grasa intramuscular, así como el espesor de la grasa dorsal (Latorre, 2003) y la pigmentación, pero disminuye la actividad proteolítica. En lo que se refiere al perfil de ácidos grasos, aumentan los monoinsaturados y los saturados y disminuyen los poliinsaturados (Campo y Sierra, 2011; Lorenzo *et al.*, 2018). La selección de animales de mayor edad puede contribuir a reducir la aparición de texturas blandas en jamón ya que la cantidad de enzimas proteolíticas como la catepsina B es menor (Sárraga *et al.*, 1993) y en el caso de las carnes, reduce las pérdidas por goteo durante el oreo. A medida que aumenta la vida del animal, se produce un incremento del hierro hemo y del contenido en colágeno, este último relacionado con carnes más duras (Kopp, 1971; Lawrie, 1998). Sin embargo, las proteínas y la humedad de la carne disminuyen, de forma que la carne de cerdos sacrificados a los doce meses, al presentar mayor contenido en grasa intramuscular y menor contenido en agua, podría tener mayor aptitud para la elaboración de productos cárnicos crudo-curados como el jamón (Lorenzo *et al.*, 2014).

Así, la mayor edad de sacrificio del animal da lugar a jamones y paletas con un mayor peso en fresco, pero con un menor rendimiento, ya que existe un mayor contenido graso que no se considera parte noble, por lo que se ha estimado que el peso idóneo que alcanza el equilibrio entre carne magra y contenido graso no debe superar los 140 kg de peso vivo (García Gudiño *et al.*, 2014).

La influencia del sexo afecta principalmente en la elaboración de paletas curadas (Armero *et al.*, 1999). García Gudiño *et al.* (2014) concluyeron que las paletas elaboradas a partir de machos castrados tienen un rendimiento mayor, como consecuencia de un mayor desarrollo de los miembros anteriores en machos, frente al desarrollo de las mismas piezas que generan las hembras.

1.2.1.3. Influencia de la producción y manejo en la calidad de la carne

Cuando los animales reciben un trato adecuado en la explotación, respetando el bienestar de los mismos, se logra reducir el número de canales defectuosas hasta un 50% (por reducción en la presencia de hematomas, contusiones, carnes oscuras, firmes y secas) frente a animales que reciben un trato inadecuado (Hui *et al.*, 2006).

En el caso de la producción de cerdo ecológico los animales han de disponer de una superficie al aire libre que tenga, preferentemente, árboles o zonas de sotobosque, así como áreas en las que los animales puedan resguardarse ante inclemencias meteorológicas. En todo momento se ha de primar la expresión del comportamiento normal de los animales. Es decir, los cerdos ecológicos destinados a la producción de jamón curado, deben tener entre 1 y 1.2 m² de superficie por cabeza, de zona al aire libre y entre 1.3 y 1.5 m² por cabeza de zona cubierta, con ello se persigue evitar el sobrepastoreo, así como la erosión y contaminación de los suelos con los excrementos que se generan. Sólo animales de procedencia ecológica pueden estar en las explotaciones certificadas a tal fin. Otro aspecto que se cuida en este tipo de producción es que no se puede suministrar al animal sustancias químicas, como factores de crecimiento, hormonas, aminoácidos sintéticos u otras sustancias de origen químico, además, se promueve la reproducción por métodos naturales. A la hora de tratar posibles patologías, prioriza el empleo de fitoterapéuticos y homeopáticos, y en caso de no funcionar, se permite el empleo de productos de síntesis química para tratar a los animales enfermos (Reglamento UE 848/2018), aunque en este caso concreto, la carne resultante de estos animales no se podrá comercializar como ecológica. Se obtiene así carne y productos cárnicos 100% libres de residuos procedentes de los tratamientos veterinarios (Raigón, 2007).

Sobre el empleo de antibióticos u otros residuos de naturaleza química fruto del tratamiento de los animales en las explotaciones ganaderas intensivas, en el último estudio realizado por el Centro Europeo para la Prevención y Control de Enfermedades se evidenciaron 33000 muertes en 2015 en Europa debidas a infecciones por bacterias resistentes a antibióticos (Cassini *et al.*, 2019), repercutiendo en España en 3000 personas. El control de este tipo de sustancias viene regulado por el Real Decreto 1749/1998 que establece las medidas de control aplicables a determinadas sustancias y sus residuos en los animales vivos y sus productos, siendo el Reglamento 37/2010 relativo a las sustancias farmacológicamente activas y su clasificación, por lo que se refiere a los límites máximos de residuos en los productos alimenticios de origen animal, el que establece los máximos permitidos.

No obstante, en el caso de los antibióticos en cerdos de producción bajo sistemas intensivos o convencionales, existe un compromiso del sector de ganado porcino de España de reducir el empleo de colistina a 5 mg PCU (principio activo por unidad de corrección de población) en 3 años, asegurando que no se administra neomicina y/o apramacina como alternativas (PRAN, 2020).

1.2.1.4. Influencia de la alimentación en la calidad de la carne

El tipo y cantidad de alimentos que recibe un animal influye en la calidad del producto en lo que respecta a su composición nutricional, estabilidad oxidativa o a los productos que se generan de la lipólisis, fruto de la maduración de la carne y del jamón curado (Buscailhon *et al.*, 1994a; Andersen *et al.*, 2005). Esta alimentación debe garantizar que se cubren las necesidades del animal en cada una de las diferentes etapas, así como asegurar una producción óptima. En el caso de los cerdos ecológicos la alimentación, tal y como establece la legislación, ha de ser un 95% ecológica y proceder, en la medida de lo posible, de la propia explotación, el 5% restante podría no tener una procedencia ecológica, pero las medidas de control y la justificación para su empleo son muy estrictas.

Diversos estudios han demostrado que en función del aporte de la dieta puede llegar a modificarse en ciertos aspectos la composición de la carne o del producto transformado, como puede ser el caso de la grasa (Melgar *et al.*, 1991; Coutron-Gambotti *et al.*, 1998; Ruiz y López-Bote, 2005). Así, la alimentación con un contenido más elevado en ácidos grasos insaturados, como la que se realiza en las dehesas donde se cría cerdo ibérico, repercute en una mayor presencia de estos ácidos en el producto final (Niñoles *et al.*, 2007).

En el caso de cerdos considerados de raza blanca, la alimentación suele ser a base de cereales (cebada, trigo y maíz) y un aporte graso no superior al 10% con grasas insaturadas (Corella *et al.*, 2016), lo que provoca que las grasas del animal sean más saturadas y monoinsaturadas por ser de síntesis propia. La incorporación de más ácidos grasos poliinsaturados en la dieta logra que parte de éstos pase a la carne, reduciéndose la cantidad de grasas saturadas. Por otro lado, deriva en una grasa más fluida en el producto, que no siempre es percibido por el consumidor como algo positivo. Además, las dietas animales con mayor contenido en ácidos grasos poliinsaturados, repercuten de manera negativa sobre el aroma del producto dando peores características (Ruiz y López-Bote, 2005). Algunos estudios (Isabel *et al.*, 2003) demuestran que una alimentación rica en ácidos grasos insaturados, en lugar de poliinsaturados, en animales destinados a la producción de jamón, logra que las grasas tengan una mejor consistencia. En la misma línea, en un estudio realizado con jamones de Parma, apreciaron una mayor presencia de aromas a rancio cuando el producto procedía de animales alimentados con dietas enriquecidas en ácido linoleico, a pesar de que la diferencia con los jamones que no procedían de este tipo de cerdos no difería mucho en la cantidad de este ácido graso en su perfil nutricional (Pastorelli *et al.*, 2003).

En el caso de los cerdos criados al aire libre la alimentación es, en su mayoría, la propia del medio en el que se encuentran, lo que influye en la calidad de la carne (Edward, 2005). El acceso a los pastos como fuente de alimentación deriva, en carnes y otros productos de origen animal como la leche, en un mayor contenido en ácidos grasos poliinsaturados, ácidos grasos omega 3 y vitamina E (Nielzen *et al.*, 2001; Revilla *et al.*, 2009). Este sistema de cría extensivo, asociado a la producción ecológica, presenta otra ventaja con respecto al sistema convencional, el mayor depósito de grasa intramuscular, lo cual es ventajoso en el proceso de elaboración del jamón curado, respecto al proceso y las características organolépticas que se desarrollan en el producto (Edward, 2005), como por ejemplo, un mayor aroma y sabor (Cava *et al.*, 1999). Otra característica que se ve afectada por el sistema de cría es la capacidad de retención de agua (CRA), siendo menor en los cerdos ecológicos. A su vez, este parámetro se relaciona con mayores pérdidas por goteo de la carne. Estas características son resultado de una actividad enzimática superior por el mayor desarrollo muscular que se da en estos cerdos (Olsson *et al.*, 2003), consecuencia del mayor nivel de ejercicio.

1.2.1.5. Influencia de factores *ante mortem* y *post mortem* en la calidad de la carne

Los factores que afectan *ante* y *post mortem* abarcan desde la salida de los animales de la explotación ganadera, hasta el sacrificio y obtención de la canal. En la figura 2 se muestra el diagrama de las fases que sigue un animal que va a matadero con repercusión sobre la calidad del producto final. La figura se divide en tres bloques, el primero de ellos compuesto por todas las fases previas al sacrificio como son, carga y descarga de los animales, transporte de los mismos, condiciones de estabulamiento en matadero, inspección *ante mortem* y conducción de los animales al punto de sacrificio. En estas etapas se deben aplicar prácticas correctas en materia de bienestar animal, tal y como viene regulado en el Reglamento CE 1099/2009 y en el Real Decreto 37/2014, por el que se normalizan aspectos relativos a la protección de los animales en el momento de la matanza. En el caso de ganado porcino ecológico no está permitido el uso de elementos como la pica eléctrica, para forzar a los animales que anden, permitida con algunas consideraciones en los de cría convencional (Reglamento CE 1/2005). Cualquier mala práctica durante estas fases tendrá un impacto directo sobre la calidad de la carne con la aparición de carne pálida, suave y exudativa (PSE) o carne oscura, firme y seca (DFD), hematomas, fracturas, reducción de peso *in vivo*, etc. (Schaefer *et al.*, 2001).

El segundo bloque estaría compuesto por los procesos que se centran en el momento del sacrificio (aturdimiento y sangrado), la obtención de la canal y la inspección *post mortem*. El aturdido es un paso previo obligatorio (excepto en los ritos religiosos), que asegura que el animal llega inconsciente al punto de sacrificio, donde se seccionan los vasos sanguíneos del cuello. Con esto se persiguen dos objetivos, por una parte, evitar un sufrimiento innecesario al animal y por otro, favorecer la salida de sangre del cuerpo, evitando que se acumule en los músculos y órganos vitales consecuencia de la mayor demanda de oxígeno debida al estrés. Los métodos de aturdido vienen regulados por el Reglamento CE 1099/2009 y en él se describen los autorizados, así como sus efectos y los animales en los que se pueden emplear.

En el caso del porcino, los métodos de elección para aturdir son la electrocución cabeza-tronco o el empleo de gas. Cuando el sacrificio se realiza con CO₂, se obtiene una carne de mejor calidad y se reduce la incidencia de hemorragias musculares consecuencia de la ruptura de vasos sanguíneos que en ocasiones se da con el aturdimiento eléctrico (Channon *et al.*, 2000; 2003). Por otra parte, en un estudio publicado por Becerril-Herrera *et al.* (2009), se evidenció que el sacrificio con CO₂ alteraba más los

parámetros sanguíneos (potasio, calcio, glucosa, lactato, pH, etc.) en el momento del sacrificio comparándolos con los datos obtenidos en una medición basal, lo que podría comprometer el bienestar de los animales.

Un aspecto a controlar a lo largo de este segundo bloque es el estrés derivado de malas prácticas, que afecta al bienestar animal y de manera importante, a la calidad de la carne, por estar asociado a la obtención de carnes PSE y DFD.

Hoy en día y salvo puntuales excepciones, se lleva a cabo un control y aseguramiento del bienestar gracias al Reglamento CE nº 1/2005, sobre protección de los animales en el transporte y las operaciones conexas y el Real Decreto 542/2016, sobre normas de sanidad y protección animal durante el transporte, que establece disposiciones de aplicación en España del Reglamento europeo 1099/2009, relativo a la protección de los animales en el momento de la matanza. Esta legislación es de aplicación tanto para animales de producción intensiva como animales de producción extensiva y ecológica. En lo que respecta a las carnes PSE, se han descrito en numerosas especies animales, como bovinos (Toldrá, 2017), porcinos (Bañón *et al.*, 1998; Castrillón *et al.*, 2007; Adzitey y Nurul, 2011), pavos (Molette *et al.*, 2003) y pollos (Olivo *et al.*, 2001; Wilhelm *et al.*, 2010), aunque es en la especie porcina donde mayor relevancia presenta debido a la relación que existe entre su aparición y el síndrome del estrés porcino, asociado al gen receptor de la rianodina (conocido como gen halotano), que hace a los animales portadores más susceptibles de presentarlas (Bonelli y Schifferli, 2001; Martínez-Quintana *et al.*, 2007). Existe otro gen, el gen del rendimiento Napole, que da lugar a carnes con pH final más bajo en aquellos animales que son portadores (Monin *et al.*, 1987). Para evitar la incidencia de carnes PSE en porcino, se ha estimado un tiempo de descanso de los animales entre 2 y 4 horas tras la descarga y previo al sacrificio (Santos *et al.*, 1997; Milligan *et al.*, 1998).

El tercer bloque se centra en el proceso de obtención de la canal, el oreo, el *rigor mortis* y la resolución del mismo con la conversión del músculo en carne. Ésta debe refrigerarse lo antes posible para evitar la multiplicación de microorganismos, ralentizar los procesos de proteólisis y lipólisis y lograr que el descenso del pH sea paulatino permitiendo una correcta instauración del *rigor mortis*. La aplicación de temperaturas bajas debe realizarse de forma controlada para evitar defectos en la carne (Locker y Hagyard, 1963), por lo que es recomendable en las primeras horas, mantener una temperatura

de oreo en las cámaras de aproximadamente 12 °C, posteriormente y previo al despiece de la canal, la temperatura estará por debajo de 7 °C (Reglamento CE 853/2004).

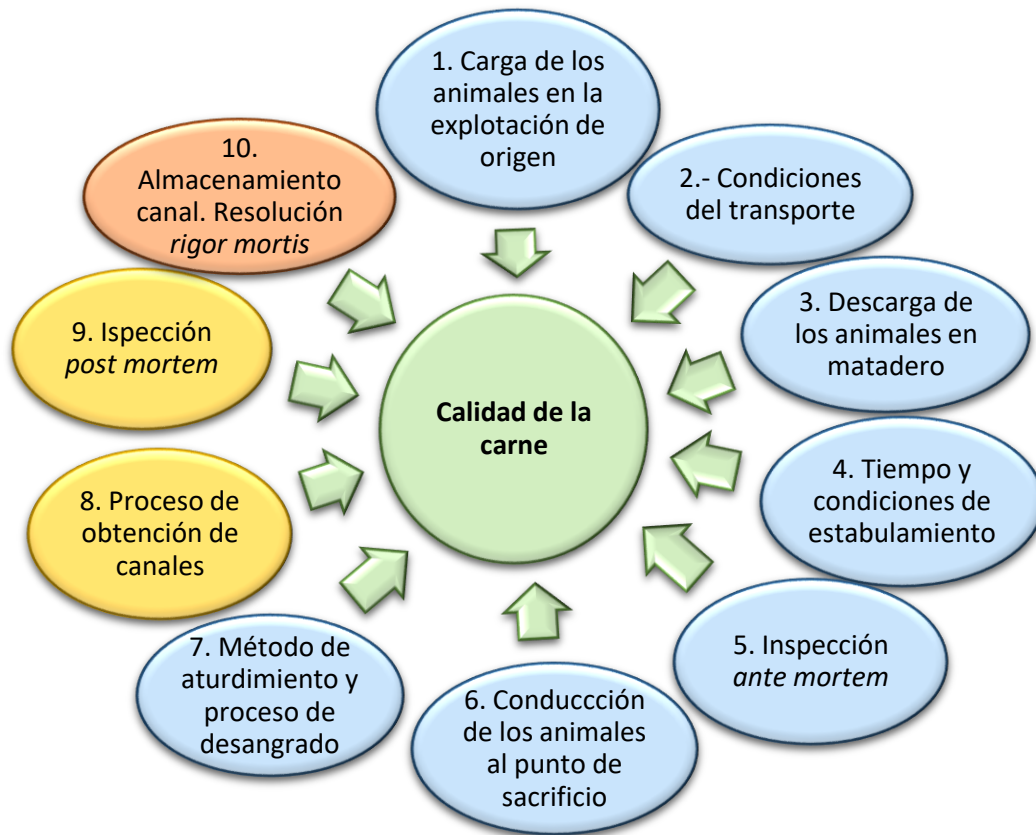


Figura 2. Diagrama de las fases por las que pasa un animal desde la explotación hasta la obtención de la canal.

El proceso completo de oreo dura entre 24 y 48 horas y durante este tiempo se produce una desnaturalización de las proteínas miofibrilares por el descenso del pH, lo que da lugar a una disminución de la capacidad de retención de agua, que origina pérdidas por goteo (Escudero, 2012), estas pérdidas variarán en función de otros parámetros como el contenido graso, el pH final alcanzado en la carne o las condiciones de humedad de la cámara. A lo largo de este tiempo tiene lugar la transformación del músculo en carne.

1. INTRODUCCIÓN

El Código Alimentario Español, en el capítulo X dedicado a carnes y derivados define la carne como “la parte comestible de los músculos de los bóvidos, óvidos, suidos, cápridos, équidos y camélidos sanos [...]. La carne será limpia, sana [...]. Presentará olor característico, y su color debe oscilar de blanco rosáceo al rojo oscuro, dependiendo de la especie animal, raza, edad, alimentación, forma de sacrificio, período y tiempo transcurrido desde que aquél fue realizado” (Delueze, 2006). Esta definición da la clave de algunos de los elementos a tener en cuenta en la obtención de un producto cárnico que se ajuste a los estándares de calidad, que la industria o el consumidor demandan en función del país, la cultura, los hábitos alimenticios o el proceso de transformación al que va a ser sometida la carne hasta alcanzar el producto definitivo.

Para que la carne sea comestible se suceden una serie de modificaciones físicas, químicas, bioquímicas y microbiológicas en el tejido muscular, pudiendo ser luego consumida como tal (refrigerada), congelada o transformada (salazones, curados, ahumados, embutidos, tocinos, conservas cárnicas o platos preparados).

El músculo esquelético está formado principalmente por proteínas que se clasifican en sarcoplasmáticas, miofibrilares y del estroma (Hui *et al.*, 2006). Las proteínas de la carne se disponen de forma específica en el organismo formando el músculo tal y como se conoce. La figura 3 muestra la estructura del músculo donde se puede observar cómo se distribuyen las fibras musculares en la unidad funcional (sarcómero) y las diferentes zonas que pueden diferenciarse, importantes desde el punto de vista de la conversión del músculo en carne.

El músculo está formado por paquetes de haces musculares rodeados por el epimisio (tejido conjuntivo) que en los extremos finales de éste acaba en los tendones. Cada haz está rodeado por el perimisio y contiene numerosas fibras musculares en su interior, cada una de ellas envuelta por el endomisio (tejido conjuntivo, principalmente colágeno). Estas fibras están formadas por proteínas miofibrilares organizadas en sarcómeros, que son las unidades contráctiles del músculo. El sarcómero viene delimitado por dos discos Z y contiene filamentos delgados (actina) y filamentos gruesos (miosina) (Cassens, 1994). La fibra muscular se encuentra rodeada del sarcolema que a su vez está formado por el endomisio, una capa de mucopolisacáridos y la membrana plasmática interna lipoproteica.

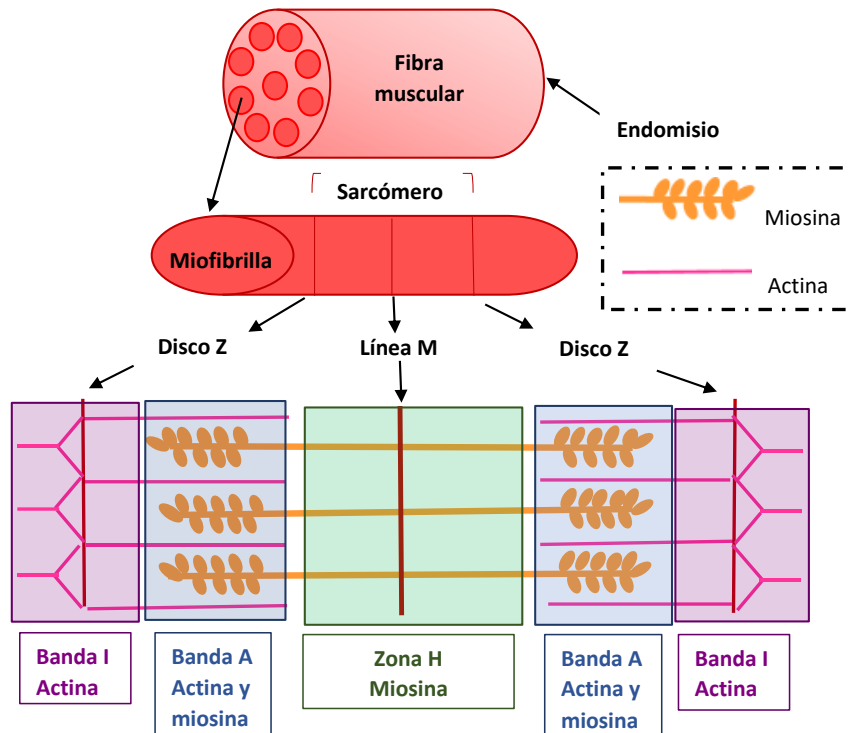


Figura 3. Estructura del músculo.

Las proteínas musculares pueden clasificarse en función de su localización en:

1.- Proteínas sarcoplasmáticas: Estas proteínas representan del 20 al 30% del total de las proteínas, entre las que se encuentran enzimas, pigmentos (como la mioglobina) y albúminas. La mioglobina es la proteína responsable del color de la carne que contiene un grupo prostético hemo, unido a una molécula de hierro. En función de la cantidad de oxígeno presente, el color de la mioglobina varía desde rojo brillante a marrón. La figura 4 muestra la variación del color de esta proteína, en función del estado oxidativo del hierro.

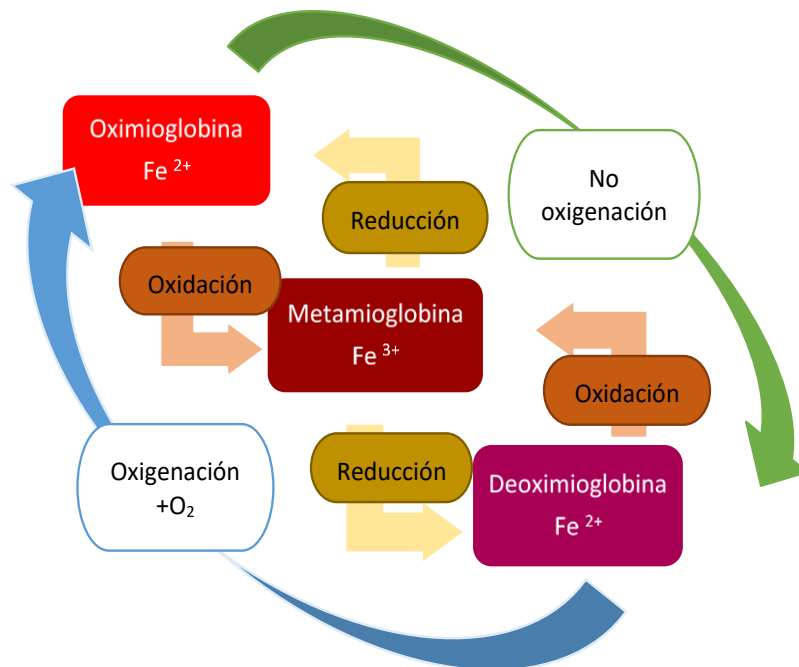


Figura 4. Formas de la mioglobina, en función del estado del hierro, y del color que se produce en la carne.

2.- Proteínas miofibrilares: Estas proteínas son las mayoritarias en carne y de ellas depende la contracción muscular. A su vez se clasifican en:

2.1.- Miosina: unida a la línea M, divide la banda A (anisótropa) representada por los filamentos gruesos y finos. Consta de:

- Cabeza (lugar de unión con los filamentos de actina): con actividad ATPásica.
- Cuello: unión de la cola y la cabeza que permite cierto movimiento.
- Cola o bastón: formada por dos fibras largas de meromiosina.

Asociada a la miosina existen una serie de proteínas: proteína C, proteína F, proteína I, miomesina, proteína M, creatin quinasa y esquelemina.

2.2.- Actina: esta proteína está a ambos lados de los discos Z. Da lugar a la banda I (isótropa) del sarcómero. La actina penetra en la banda A, llegando casi al centro del sarcómero. Es una proteína globular formada por dos cadenas unidas helicoidalmente:

- Globular: G-actina.

- Filamentosa: F-actina, formada a partir de la G-actina. Es la que interactúa con la miosina y da lugar al movimiento. A ella se asocian dos proteínas, la troponina y la tropomiosina.

3.-Proteínas del estroma: Se trata de proteínas insolubles en agua. Se dividen en:

- Colágeno: principal componente del epimisio o capa de tejido conjuntivo que está en contacto directo y envuelve un músculo estriado.
- Elastina: relacionada con la dureza de la carne, al igual que el colágeno.
- Reticulina: colágeno tipo III. Forma el estroma del tejido linfoide.
- Titina: proteína mayoritaria del citoesqueleto y tercera en cuanto a presencia, a nivel muscular (Varnam y Shuterland, 1995).
- Nebulina: es una proteína que une los filamentos de actina a la línea Z. En el proceso post mortem se degrada rápidamente dando lugar a alteraciones de las miofibrillas (Robson *et al.*, 1995).
- α -actinina: mantiene los filamentos de actina unidos a la línea Z.
- β -actinina: regula la longitud de los filamentos delgados y evita la recombinación de la F-actinina fragmentada (Hui *et al.*, 2006).
- Desmina: principal componente de la línea Z.

La conversión del músculo en carne se produce tras la muerte del animal por factores como la caída de pH, la actuación de enzimas endógenas y exógenas y ciertos microorganismos que pueden llegar a desarrollarse de forma no deseable (malas prácticas en la manipulación, higiene deficiente, etc.) o como parte del proceso influyendo en él (Hui *et al.*, 2006).

Una vez se produce la muerte del animal comienza la instauración del rigor mortis, que da lugar a un músculo rígido e inextensible, por una contracción muscular sostenida (formación del complejo actomiosina), que no se puede resolver tal y como ocurre en el músculo *in vivo* por falta de ATP disponible. Este fenómeno se ve directamente afectado por el tamaño de la canal, la cantidad de cobertura grasa, la temperatura de la cámara de oreo y la velocidad del aire (Hui, 2012). En un plazo de 3 a 19 horas este *rigor mortis* se resuelve, modificando la textura del músculo que pasa a ser carne empezando a desarrollar aromas propios de la misma (tabla 6) (Hui *et al.*, 2006). En este proceso de conversión del músculo en carne se produce la degradación de diferentes estructuras que forman parte del mismo (desmina, titina, nebulina, etc.) por acción de enzimas proteolíticas (endógenas, exógenas y

1. INTRODUCCIÓN

otras). De las enzimas endógenas cabe destacar dos: catepsinas y calpaínas que formarán polipéptidos que, tras sucesivas degradaciones por parte de diferentes exopeptidas (peptidasas, tripeptidilpetidasas, dipeptidilpeptidasas, aminopeptidasas y carboxipeptidasas) dará lugar a la presencia de aminoácidos libres que por sí solos o tras reacciones secundarios con otros compuestos darán lugar a la formación de aromas, como el curado (Escudero, 2012; Salazar, 2013).

Tabla 6. Relación entre sabores y precursores del aroma en la carne.

Sabor que generan	Precursores
Salado	Cloruro de sodio o potasio, glutamato monosódico, aspartamo monosódico
Dulce	Glucosa, fructosa, ribosa, L-aminoácidos(glicina, alanina, serina, treonina, lisina, cisteína, metionina, asparragina, glutamina, hidroxiprolina y prolina)
Amargo	Hipoxantina, anserina, carnosina y L-aminoácidos
Ácido y amargo	Ácido láctico, ácido acético, aminoácidos (aspártico, glutámico, histidina, asparragina), fosfatos ácidos
Umami	Ácido glutámico, glutamato monosódico, 5'-mononucleótidos

Las catepsinas son proteasas lisosomales ácidas que se liberan durante la etapa *post mortem* cuando baja el pH y están relacionadas con la aparición de texturas blandas, sobre todo la catepsina B (Rico *et al.*, 1991). Las calpaínas son proteasas (Toldrá y Etherington, 1988) que se activan con la presencia de calcio y que son inhibidas por la calpastatina. Existen tres tipos de calpaínas que se activan con la presencia de calcio: μ -calpaínas (calpaína I), que se activan con dosis bajas, m-calpaínas (calpaína II) que requieren de grandes dosis y calpaína P94 (calpaína III). El empleo de algunos agentes de curado como los nitritos pueden servir como controladores de la proteólisis producida por las calpaínas (Rosell y Toldrá, 1996). El pH óptimo de actuación de estas enzimas está entre 6.6-6.8, de ahí que ejerzan su función mayoritariamente durante la etapa *pre rigor* (Boehm *et al.*, 1998).

Existen estudios (Koohmaraie *et al.*, 1990) que demuestran que la inyección de cloruro de calcio en el músculo una vez el animal ha muerto contribuye a la rápida maduración y ablandamiento de la carne, logrando resultados de 14 días de maduración, en tan sólo 24 horas, incluso se ha visto que podría actuar de manera positiva sobre el sabor y el aroma de la carne (Aktas y Kaya, 2001). Algunos autores han sugerido que realmente el ablandamiento de la carne no se debe a estas proteínas, sino a otros procesos de carácter no enzimático (Bañón, 1996).

1. INTRODUCCIÓN

Las enzimas endógenas y exógenas no sólo son las responsables de la maduración de la carne, sino que la microflora que se desarrolla en la canal, también va a producir proteasas que hará que aumente la terneza de la misma y se produzcan cambios en el aroma y el sabor de la carne. Entre estos microorganismos se encuentran las *Pseudomonas spp.* o los *Micrococaceae spp* (Alanís *et al.*, 1999).

Otro factor que va a influir en la transformación del músculo en carne es la glucólisis anaerobia, que se inicia tras la muerte del animal donde el glucógeno es empleado como sustrato para llevar a cabo la reacción. Esto provoca una disminución del pH muscular por la generación de ácido láctico que hace que éste pase de un valor aproximado de 7 a 5.5 en 24 horas, en condiciones favorables, pero cuando el animal es sometido a una situación de estrés, éste se ve alterado (Toldrá, 2017). Si ese factor estresante ocurre en el momento del sacrificio, se produce una rápida bajada del pH cuando el músculo está aún caliente, dando un pH por debajo de 6 antes de los 45 minutos y valores inferiores a 5.5 a las 24 horas. Esto se debe a una cantidad elevada de ácido láctico consecuencia del estrés previo, que se acumula sin posibilidad de ser eliminado.

Este fenómeno da lugar a carnes pálidas, suaves y exudativas (PSE), presentadas con mayor frecuencia en razas porcinas como *Landrace* o *Pietrain* (Ruiz *et al.*, 2004). Si por el contrario el animal ha estado sometido a estrés en momentos previos al sacrificio (mal transporte, condiciones inadecuadas de estabulamiento en matadero, etc.) se obtendrán carnes oscuras, duras y secas (DFD), cuyo pH es superior a 6 a las 24 horas (figura 5). En este caso, el glucógeno muscular se agota *in vivo* no quedando disponible para que pueda ser empleado en los procesos *post mortem* para generar ácido láctico. Este tipo de carnes tiene una mayor incidencia en porcino. En un estudio realizado en cuatro mataderos de Cataluña se estimó un 35% de casos de estas carnes anómalas (Velarde, 2007).

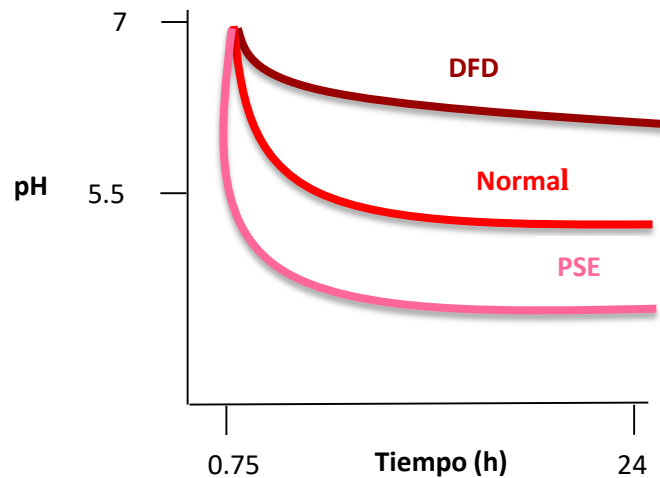


Figura 5. Relación entre el pH y el tiempo post mortem en la obtención de carne normal, PSE y DFD.

Durante este proceso de transformación del músculo en carne también se generan aromas, pasando la carne de un sabor metálico, al propio que le corresponde (Hui *et al.*, 2006). Tras la muerte del animal se inician reacciones de proteólisis, lipólisis, glucólisis (aunque en menor grado), transformación de nucleótidos, así como otras de carácter químico como las reacciones de Maillard, degradaciones de Strecker y oxidación (Toldrá, 1998). Los factores responsables del aroma en esta etapa serían moléculas de bajo peso molecular solubles en agua o lípidos de la carne, teniendo poca influencia proteínas como la actina, miosina o pigmentos (a excepción de la mioglobina que sí podría influir como impulsor en el proceso) (Hui *et al.*, 2006). Estas proteínas, sin embargo, adquieren gran relevancia en lo que a generación de aroma se refiere, cuando se trata de elaboración de productos tales como el jamón (Pérez Juan, 2006; Gallego, 2015).

1.2.2. Fase de salado

La adición de sal es uno de los métodos de conservación más tradicionales, en el caso del jamón, además, es un paso fundamental para obtener un producto estable en el tiempo con características organolépticas propias. Esta estabilidad se da gracias a la prevención del desarrollo de bacterias patógenas y alterantes por la reducción de la actividad de agua (a_w) y la presión osmótica que se origina a altas concentraciones de sal (Raigón, 2010).

1. INTRODUCCIÓN

El salado es, en gran medida, lo que va a definir el producto final, ya que el tipo de salado, la cantidad de sal, la adición o no de otras sustancias y las condiciones de la cámara en la que se efectúa, repercutirán en etapas posteriores. En algunos casos, como en el jamón de Parma, es el único aditivo permitido (Håseth *et al.*, 2012). Una de las funciones principales de la sal, es la de aportar sabor, solubilizar proteínas (Hui, 2012) y contribuir a la deshidratación del producto por un proceso de ósmosis haciendo que el agua salga lentamente desde el interior de la carne. Se favorece así la penetración de la sal que se une a las proteínas debilitando las interacciones entre fibras, lo que reduce las interacciones proteína-proteína y aumenta las interacciones proteína-agua (Vojdani, 1996). De forma general, jamones y paletas que presentan un contenido de grasa intramuscular elevado necesitan un mayor tiempo para eliminar el agua y lograr que penetre la sal (Ruiz *et al.*, 2004).

El salado de las piezas dará lugar a una disminución de la a_w , necesaria para hacer que el producto sea estable a nivel microbiológico durante las etapas posteriores. La cámara en la que se realiza el salado debe tener una temperatura baja, en torno a 1-3 °C, para así controlar la proliferación de microorganismos tanto patógenos, como no patógenos, puesto que la a_w en la carne todavía es demasiado elevada como para que el propio proceso sea suficiente para evitar su multiplicación. La humedad relativa tiene que ser alta (en torno al 90%) para conseguir reducir la cantidad de sal a añadir sobre el jamón. La pérdida de agua que se produce da lugar a una disminución de la a_w que puede derivar en alteraciones en el producto final, debido a que se ve favorecida la oxidación lipídica (Andersen y Skibsted, 1991), si no se controla bien el proceso.

Durante el proceso de salado, la sal se dispone en capas alternas entre la carne, evitando que entren en contacto unas piezas con otras, empleando como soportes, carros de acero inoxidable, bandejas de forma individual o la superficie del suelo.

La salida del agua se favorece por efecto de la presión de las propias piezas (mucho más acusado en las situadas en el fondo). En esta fase las carnes deben permanecer aproximadamente 1 día por cada kg de peso de la pieza.

En esta fase se añaden normalmente agentes nitrificantes entre los que se encuentran sales de nitratos y nitritos sódicas o potásicas. El empleo de estos aditivos se regula mediante el Real Decreto 142/2002 que aprueba la lista positiva de aditivos para su uso en productos alimenticios y sus

1. INTRODUCCIÓN

condiciones de utilización y el Reglamento UE 1129/2011, y consecutivas actualizaciones, que estipula la dosis máxima residual que puede estar presente en el producto final, siendo de 100 mg/kg de nitrito potásico (E-249) o nitrito sódico (E-250) expresados como nitrito sódico o de 250 mg/kg expresados como nitrato sódico, cuando los aditivos que se empleen sean el nitrato sódico (E-251) o nitrato potásico (E-252). Su papel es el de contribuir al desarrollo del color, flavor y con requisitos de seguridad alimentaria, no obstante, estos hitos también se logran en la producción de jamón ecológico al que no se añaden estas sales (tabla 7).

Tabla 7. Control y formación de diferentes aspectos en jamón curado elaborado con y sin nitratos.

	Productos con nitratos y/o nitratos y nitritos	Productos sin nitratos y/o nitratos y nitritos
Control de microorganismos patógenos	Inhibición de <i>C. botulinum</i> , <i>Salmonella spp.</i> y <i>Listeria spp.</i>	Medidas exhaustivas en higiene de personal, instalaciones y proceso, control riguroso de temperaturas
Aroma	Influye en la lipólisis, proteólisis y la oxidación Favorece el flavor a curado	Intensidad menor, pero no apreciable en análisis sensorial. En procesos de curación largos, menor diferencia
Color	Formación de nitrosomioglobina, color rojo típico del curado. La adición de ascorbato e isoascorbato mejora el color. Durante el proceso de conservación pérdida de color poco acusada	Formación del complejo zinc-Protoporfirina (ZnPP) lento a lo largo del proceso de curación. Diferencia no apreciable en análisis sensorial. Durante el proceso de conservación pérdida de color más rápida.
Efecto antioxidante	Previene el enranciamiento de las grasas	-
Nutrientes	Disminuye B6 (piridoxina) y aumenta B3 (nicotinamida)	No se ven afectados al no tener estos aditivos

Entre las propiedades de los agentes nitrificantes se encuentra:

- Acción antimicrobiana: determinada por los nitritos (los nitratos carecen de ella) mediante la inhibición del desarrollo de patógenos como *Clostridium botulinum* y sus toxinas (Grever y Ruiters, 2001), *Salmonella spp.* y *Listeria spp.* Los resultados son mejores cuando se añaden nitratos y nitritos combinados con la sal en lugar de sólo nitratos (Arnau *et al.*, 2013). En el jamón ecológico, las sales nítricas no están autorizadas y la posible presencia de microorganismos se controla gracias a la estricta implantación de medidas de higiene en todas las fases, pero especialmente en las iniciales (salado, post

salado y reposo) y controlando muy bien la calidad microbiológica de la materia prima a su entrada. La adición de agentes nitrificantes no es la única barrera, sino que es la acción combinada de la reducción de la a_w junto con el pH, la que logra evitar la presencia de microorganismos, siendo productos inocuos. Un ejemplo sería el jamón de Parma al que no se le añaden nitratos ni nitritos. En un estudio sobre la supervivencia de virus en jamón de Parma (McKercher *et al.*, 1987) llegaron a la conclusión que a los 399 días (13 meses) no se detectaba presencia de virus, de esto se concluye que el tiempo de curado es determinante para reducir la posibilidad de presencia de estos u otro tipo de patógenos.

- Desarrollo de aromas: tiene efectos sobre la lipólisis y proteólisis, así como cierta capacidad antioxidante, lo que hace que influya en la generación de aromas, evitando también la aparición de aquellos vinculados con la degradación del producto. En los jamones de corta curación al reducir la cantidad añadida disminuye el flavor a curado (Cho y Bratzler, 1970). Cuando el proceso es de larga curación, hay una disminución general del flavor, pero sin grandes repercusiones a nivel organoléptico.

- Generación de color: la estabilidad del color se debe a la formación de óxido nítrico por la reducción del nitrito, que al combinarse con la mioglobina forma la nitrosilmioglobina (figura 6) que otorga los colores rojizos típicos del curado (Hui, 2012). La presencia de este pigmento puede dar lugar a un defecto que se conoce como halos de nitrificación si no se controla (Arnau *et al.*, 2013). Cuando se disminuye la cantidad de nitrato o nitrito adicionados, puede observarse una reducción en intensidad del curado, que es menos evidente cuando el proceso es largo y puede verse mejorado si se añade ascorbato sódico.

En el caso de los productos ecológicos a los que no se les añaden sales nítricas, el color tarda más en adquirirse (Grossi *et al.*, 2014) y se produce gracias a la formación del pigmento zinc-protoporfirina (ZnPP) dando un índice de curado menor a otros productos a los que sí se les adiciona, pero que no influye de manera significativa en la evaluación sensorial del producto (Arnau *et al.*, 2013). En los productos con cantidades reducidas de nitratos o sin ellos puede observarse una decoloración de las muestras a lo largo del período de conservación mayor que en los productos con dosis más elevadas de nitratos y nitritos.

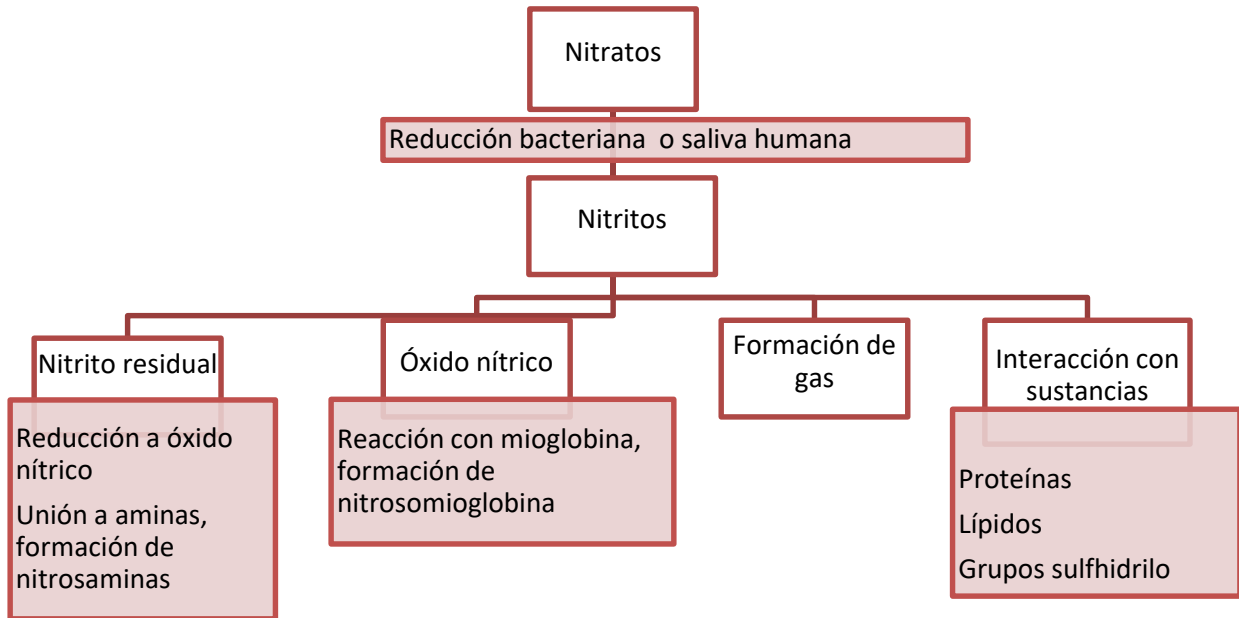


Figura 6. Formación de diferentes compuestos a partir de la adición de nitratos.

- Acción antioxidante: retraso de la oxidación y del enranciamiento de la grasa (Fernández-López *et al.*, 2005).
- Efecto sobre los nutrientes: produce una disminución en el contenido de algunas vitaminas del grupo B como la piridoxina (B6) y aumento de otras como la nicotinamida (B3) (Arnau *et al.*, 2013)

1.2.2.1. Inconvenientes de la fase de salado. Riesgos asociados al empleo de nitratos y nitritos

La formación de nitrosaminas es el mayor riesgo derivado del uso de nitratos y nitritos como aditivos a los que está expuesto el ser humano a través de la dieta (Etemadi *et al.*, 2017). En la formación de nitrosaminas, juega un papel importante el ascorbato e isoascorbato ya que agilizan el paso de nitrito a óxido nítrico reduciendo la posibilidad de aparición de quemadura en la superficie por acción del nitrito y frenando la formación de nitrosaminas. Arnau *et al.* (2013) observaron que las nitrosaminas que se forman durante el proceso de elaboración del jamón curado son bajas y que además no guardan relación con la cantidad de nitratos y nitritos añadida. Los compuestos a partir de los que se forman son principalmente creatina, lisina y prolina presentes en el músculo.

En el caso de productos curados tipo jamón la presencia de estas sustancias es baja o inexistente, ya que a lo largo del proceso de curado parte del nitrito añadido desaparece a través de la reacción de Van Slyke (Price y Sweigert, 1987; García Regueiro, 2018) siempre que el pH esté por debajo de 6, en caso contrario, los niveles de nitratos podrían presentar valores muy elevados (Arnau, 2013). No obstante, la aparición de las nitrosaminas en productos curados (Pegg y Shaidi, 2000) se puede reducir incluyendo especies antioxidantes, como las sales del ácido ascórbico, que además favorecen la fijación del color típico del curado al acelerar la aparición de óxido nítrico y previenen la aparición de colores verdosos debidos a la reacción del oxígeno con el óxido nítrico.

1.2.2.2. Inconvenientes de la fase de salado. Contenido en sal del jamón

El jamón se asocia a contenidos elevados en sal que van desde los 1935 mg/100 g del jamón de bellota a los 2130 mg/100 g de sodio en el jamón serrano (BEDCA, 2020). A nivel de consumo supone que, con la ingestión de 100 g de jamón se ingieren entre 4 y 6 g de sal, llegando al máximo de la cantidad recomendada, 5-6 g al día (Gou, 2008). Esto ha obligado a la industria a reducir el contenido de este componente en producto final hasta un 30% de los años 90 a la actualidad (López Ortega, 2019). Esto se ha logrado acortando el tiempo que los jamones están en la fase de salado, disminuyendo la cantidad de sal o sustituyendo parcialmente el cloruro sódico por otras sales, como el lactato que ha demostrado controlar bacterias como *Listeria monocytogenes* (Fulladosa *et al.*, 2012).

A su vez, esto ha derivado en un mejor control higiénico de las instalaciones y el proceso, puesto que entre las funciones de este aditivo se encuentra el control de microorganismos por reducción del contenido en agua y por tanto, de una disminución de la actividad de agua (a_w). La reducción en el contenido en sal también puede llegar a afectar a la textura y sabor del producto, ya que cantidades inferiores de sal aumentan la actividad proteolítica, lo que podría derivar en texturas blandas (Gou, 2008; Armenteros, 2010).

1.2.3. Fase de lavado-cepillado

En la etapa de lavado y cepillado los jamones son frotados con cepillos y lavados con agua templada para retirar el exceso de sal presente en la superficie, asegurando que en la siguiente etapa la penetración de la sal se da de manera homogénea. Se ha de realizar una ligera presión y moldeado de

los jamones para eliminar la posible sangre residual (Hui, 2012). Posteriormente, los jamones se dejan escurrir para eliminar el agua superficial que pueda quedar antes de pasar a la fase de post salado.

En la elaboración de algunos productos como los jamones italianos, el lavado se realiza después de la fase de post salado, lo cual permite que el jamón pueda secarse a temperaturas mayores tras esta fase, permitiendo que el tiempo de curado sea menor (Russo *et al.*, 1993).

1.2.4. Fase de post salado

La fase de post salado dura aproximadamente de 2 a 3 meses y en ella se favorece la penetración de la sal en el interior de la pieza (Arnau, 1993) y la reducción de la a_w a valores por debajo de 0.90, para así asegurar que no se produzca proliferación de patógenos, como *Listeria monocytogenes*. Durante este período la temperatura debe estar por debajo de 5 °C y la humedad relativa en torno al 75% (Hui, 2012).

Esta fase junto con la de salado es donde se produce la mayor generación de nitrógeno peptídico y aminoácido (Martín *et al.*, 1998a), obteniendo al final un incremento notable de aminoácidos libres como la isoleucina, valina, fenilalanina, histidina, asparagina y glutamina y también de los aldehídos (consecuencia de la oxidación lipídica) (Antequera *et al.*, 1992), cetonas, peróxidos e hidroperóxidos (Ventanas *et al.*, 1992). A lo largo de esta etapa disminuyen los fosfolípidos y aumentan de manera considerable los ácidos grasos libres, los diglicéridos y monoglicéridos no sufren prácticamente ninguna modificación (Ruiz Carrascal, 2014).

Se va a producir hidrólisis de los lípidos musculares por acción de las lipasas neutra y básica, las ácidas actúan a lo largo de todo el proceso (Gandemer, 2002). Las fosfolipasas (A₁, A₂, C y D) actúan durante seis meses y dan lugar a un aumento de los ácidos grasos poliinsaturados por hidrólisis de los fosfolípidos (Buscailhon *et al.*, 1994b).

Entre el final del salado y el inicio del post salado se produce un aumento de la presencia de hexanal, heptanal y nonanal que cae de manera brusca al finalizar el post salado, para luego volver a sufrir un aumento en etapas posteriores (López-Bote *et al.*, 1993).

1.2.5. Fase de secado-maduración

Durante el proceso de secado el principal objetivo es disminuir progresivamente el contenido en agua de la carne. Para ello, las condiciones de temperatura ambiente varían desde aproximadamente los 14 °C al inicio del proceso, hasta los 22-26 °C del final, con una humedad relativa entre el 60 y 80%.

El proceso de secado, puede realizarse de dos modos, bien en cámara con temperatura y humedad controlada, bien con secado con aire natural, proporcionado por la apertura de ventanas en los secaderos. El sistema con cámara de secado, es un sistema artificial, donde se controlan las condiciones que tratan de imitar las estaciones y que permiten estandarizar el proceso, ayudando a un mejor control de la calidad del producto tanto sanitaria como organoléptica. En el sistema de aireación natural, en secaderos con ventanas al exterior y apertura regulable, la carne se somete a las condiciones ambientales de la climatología de la zona. Este tipo de secado se conoce como secado al natural y se realiza en secaderos ubicados en áreas específicas que aseguran unas condiciones climáticas determinadas con una humedad relativa baja. El principal problema al que se enfrenta este tipo de secado es el poco control sobre las condiciones del mismo, que queda en su mayoría, en manos de la climatología (Hui, 2012).

Al finalizar la fase de secado en algunos productos se lleva a cabo la maduración en bodega. Aquí se prolonga el período de curado y se favorece el desarrollo de aromas y sabores particulares debido a que los procesos bioquímicos y enzimáticos continúan y donde además se desarrolla una flora microbiana no patógena que influye especialmente en las características del producto. Las condiciones de esta etapa son de unos 15 °C y la humedad relativa en torno al 70%. La permanencia no debe ser inferior a 10 meses (Hui, 2012).

Durante la fase de secado-maduración se generan numerosos compuestos volátiles a través de las siguientes reacciones (Cava *et al.*, 2004; Pérez-Juan *et al.*, 2006):

- **Proteólisis**: la proteólisis o hidrólisis de las proteínas se lleva a cabo a través de endoproteasas y exopeptidasas, fraccionando la proteína y generando péptidos de pequeño tamaño y aminoácidos. La actuación de las enzimas dependerá del momento en el que se encuentre la pieza, por ejemplo, en la fase inicial son las calpaínas las responsables de degradar proteínas, su acción se extiende a lo largo de los primeros 14 días (Rosell y Toldrá, 1996), a continuación, entrarían en juego las catpsinas que son

capaces de actuar con rangos de temperatura entre 15-35 °C (Rico *et al.*, 1990), mostrando su máxima actividad aproximadamente a los 6 meses (Sárraga *et al.*, 1993). En la fase final de maduración participan las exopeptidasa (tabla 7), entre ellas las peptidasas (estables después de 15 meses), aminopeptidasas, carboxipeptidasas, etc. (tabla 8) (Alfaia *et al.*, 2004).

Las aminopeptidasas (alanil, arginil, leucil, tirosil y piroglutamil aminopeptidasas) son muy estables durante los ocho primeros meses, después su actividad disminuye debido al efecto de la sal y de la deshidratación (Toldrá *et al.*, 1993; 1996; 1997).

Tabla 8. Exopeptidasas y generación de compuestos precursores de aromas en jamón.

Exopeptidasas	Compuesto que generan
Peptidasas	di- y tripéptidos
Aminopeptidasas	Aminoácidos libres
Carboxipeptidasas	Aminoácidos libres
Peptidilpeptidasas	Dipéptidos
Dipeptidasas	Peptidasas
Tripeptidasas	Dipeptidasas

Esta hidrólisis de proteínas va a provocar un incremento moderado de isoleucina, valina, fenilalanina, histidina, asparagina y glutamina que interactúan con aldehídos dando compuestos volátiles a través de la degradación de Strecker (Ventanas *et al.*, 1992). Al final de la fase de maduración, los aminoácidos mayoritarios serán el ácido glutámico, la leucina, la alanina y la lisina (Córdoba *et al.*, 1991; 1994a).

La otra fracción que también se genera como consecuencia de la degradación de proteínas es el nitrógeno básico volátil. A lo largo de la etapa de secado el nitrógeno proteico va descendiendo (aun así, es el que está presente en mayor cantidad),-igual que el nitrógeno peptídico, mientras que, al nitrógeno no proteico, al aminoacídico y al nitrógeno básico volátil le ocurre lo contrario (Martín *et al.*, 1998b; López-Bote *et al.*, 1993).

1. INTRODUCCIÓN

Tabla 9. Actuación de catepsinas y calpaínas sobre diferentes estructuras en función del pH.

Enzima		Tipo	pH actuación	Acción sobre	Duración
Calpaínas	I o μ	Endopeptidasa	7 a 8	Discos Z Titina, nebulina, troponina T e I, tropomiosina, desmina	Activa solo en las primeras semanas
	II o m	Endopeptidasa	6 a 7	Titina, nebulina, troponina T e I, tropomiosina, desmina	Deja de actuar a las 72 horas
	III o P94	Endopeptidasa		Se une a la titina. Inestable cuando se libera de ésta	
Catepsina	B	Exo y endoproteasa	4.6	Actina, miosina, troponina I, colágeno	Activa largos períodos (15 meses)
	D	endoproteasa	3 a 5	Actina Miosina Troponina I y T Línea Z Titina	Fin de su actividad a los 6- 8 meses
	H	Exo y endoproteasa	5.5 a 6.5	Actina miosina	Activa largos períodos (15 meses)
	L	Endoproteasa	4 a 6.5	Actina Miosina Troponina T, I, C	Activa durante todo el proceso (15 meses)
	B+L	Exo y endoproteasa	4 a 6.5	Colágeno, conectina, titina y nebulina	
Peptidasas	DPPI, DPPIII, TPPI, TPPII	Exopeptidasa, sobre todo en etapas finales. Muy específica frente a enlaces aromáticos, alifáticos y aminoácidos		Di y tripéptidos	Activas hasta 15 meses
Aminopetidases	Leucil, alanil (la más importante), piroglutamil, arginil y metionil aminopetidases			Aminoácidos libres: ácido glutámico, aspártico, alanina, leucina, valina y lisina	
Carboxipeptidasas	Poco estudiadas			Aminoácidos libres	
Proteasoma			pH > 7		Se desconoce su evolución

La proteólisis es un proceso muy importante en el desarrollo del sabor y la generación de aromas y texturas propias del jamón, pero un exceso de esta degradación, puede derivar en texturas blandas (sobre todo asociada a la acción de catpesina B), lo cual se podría controlar seleccionando animales de mayor edad ya que presentan una actividad proteolítica menor (Toldrá *et al.*, 2000). La proteólisis se ve favorecida por el incremento de la temperatura de esta etapa, dando lugar a un aumento significativo el nitrógeno no proteico (Martín *et al.*, 1998a).

- Lipólisis: la lipólisis o hidrólisis de los lípidos, afecta tanto a lípidos musculares como del tejido adiposo y se da por vía enzimática y no enzimática (degradación y oxidación) (figura 7) que dan como resultado un aumento de los ácidos grasos libres que son susceptibles de oxidación, así la mayor producción de esteárico y oleico se da entre los ocho y diez meses (Toldrá, 1998). La mayor actividad de la lipólisis se da en los 6 primeros meses de curado y muchos de los ácidos grasos que se generan intervienen en reacciones de condensación con aminoácidos dando lugar a reacciones de Maillard (Ventanas *et al.*, 1992). La lipólisis da lugar a ácidos grasos libres saturados, monoinsaturados y poliinsaturados, éstos últimos actúan como precursores del aroma, por su mayor susceptibilidad a la oxidación química o enzimática originando compuestos volátiles (Toldrá, 1998). La formación de aldehídos derivados de la oxidación es menor en la maduración que en etapas anteriores, pero su intensidad es mayor (Antequera *et al.*, 1992), lo que en cierto modo determina el tiempo que ha de estar el jamón en esta fase, ya que si se retira muy pronto el jamón tendrá aroma a rancio (Ventanas *et al.*, 1992), además de reducirse las reacciones de condensación de los aminoácidos, tipo Maillard, que determinan los aromas del jamón. Todo esto se ve favorecido por las condiciones de elevada humedad, baja a_w y pH que se mantiene estable en torno a 6 (López-Bote *et al.*, 1993).

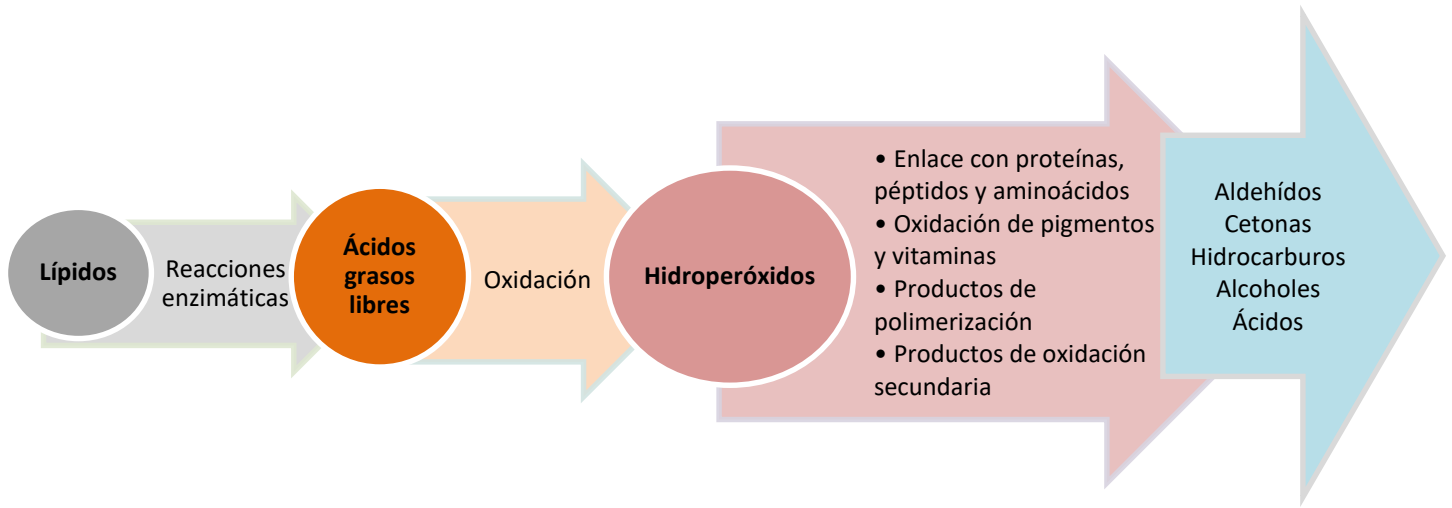


Figura 7. Proceso de oxidación de lípidos.

La lipólisis (principalmente de los fosfolípidos), los procesos de oxidación y otras reacciones que se van a producir, generarán compuestos volátiles que son característicos de cada especie (Mottram, 1998). Los compuestos aromáticos proceden de la oxidación de los ácidos grasos libres generados a partir de fosfolípidos y triglicéridos. Esta oxidación dará lugar a radicales libres y éstos a hidroperóxidos que serán precursores de cetonas, alcoholes, aldehídos, hidrocarburos y ácidos, pudiendo incluso reaccionar con compuestos como proteínas, péptidos o aminoácidos (Escudero, 2012; Gallego *et al.*, 2018).

Al final del proceso se generan compuestos tales como hexanal, heptanal, octanal, nonanal, undecanal, 2-nonenal, 2-docenal, 3-hexanal, 4-decenal, 2,3-nondienal, 2,4-decadienal, responsables del aroma a grasa (Hui *et al.*, 2006).

- **Reacción de Maillard:** participa en la generación de compuestos volátiles, pero en menor medida que la lipólisis. Se produce en presencia de calor o durante almacenamientos prolongados, como resultado de la combinación de grupos amino libres con grupos carbonilo de azúcares reductores dando lugar a glucosilaminas y generando compuestos volátiles tales como carbonilos (aldehídos y cetonas), furanos, ácidos grasos, pirazinas y compuestos azufrados (sulfuros, tiazoles, tioles y tiofenos) (Toldrá y Flores, 1998).

- Reacción de Strecker: es la reacción que produce la desaminación oxidativa y descarboxilación de un aminoácido empleando azúcares reductores o productos de la oxidación lipídica dando lugar a aminocetonas, aldehídos (2-metil butanal, 3-metil butanal, 2-metil propanal y compuestos azufrados) y dióxido de carbono que producen aromas intensos en el jamón curado (Escudero, 2012).
- Hidrolización de nucleótidos como el adenosín trifosfato, que da como resultado adenosín difosfato y 5'-adenosín monofosfato, éste a su vez puede ser desaminado a 5'-inosín monofosfato que continúa descomponiéndose a inosina y por último a hipoxantina. También se generan 5'-guanosín monofosfato, 5'-citidín monofosfato y 5'-uridín monofosfato, pero en menor proporción. De todos los compuestos generados, el que mayor importancia tiene en el sabor del jamón es el 5'-inosín monofosfato (Toldrá, 1998).

Gracias a las reacciones de proteólisis, lipólisis, de Maillard y de Strecker se obtienen aromas que al final del proceso provocarán en el jamón un flavor característico (Carrapiso *et al.*, 2002a,b). El aroma es uno de los atributos que marcan la calidad del jamón, no sólo por parte del consumidor cuando lo compra, sino en el secadero cuando se realiza la práctica de la cala para detectar aquellos jamones que han alcanzado su punto óptimo de maduración (Ventanas *et al.*, 1999). El origen principal de los compuestos volátiles que dan lugar al aroma procede de los lípidos presentes en la materia prima (Ventanas *et al.*, 1997), aunque también participan los compuestos generados por la actividad proteolítica (Ruiz *et al.*, 1999). A través de la oxidación lipídica y de reacciones de condensación se generan los compuestos volátiles responsables del aroma del jamón (Ventanas *et al.*, 2005). La oxidación del ácido oleico da lugar a aldehídos volátiles (que son la familia mayoritaria en el caso del jamón) como el octanal y nonanal generando aromas interpretados positivamente como madera, nuez, oleoso y mantecoso (Ruiz *et al.*, 2002). La tabla 10 muestra una relación de los aromas generados en jamón curado a partir de los lípidos, así como los precursores de los que derivan y la tabla 11 los que se generan a partir de las proteínas (Berdagué *et al.*, 1991).

1. INTRODUCCIÓN

Tabla 10. Compuestos volátiles generados en el jamón curado a partir de lípidos y su relación con la síntesis de aromas.

Precursor	Compuesto primario	Compuesto secundario	Aroma descrito
Ácido linoleico	Aldehídos insaturados, alcoholes, cetonas y radicales libres	Hexanal, heptanal, octanal, nonanal, undecanal, 2-heptanal, 2-octanal, 2-nonenal, 2-docenal, 3-hexanal, 4-decenal, 2,3-nondienal, 2,4-decadienal	Grasa, rancio, fritura y verde
	Hidrocarburos aromáticos	Benzaldehído	Almendra amarga
	Furanos	2-pentil-furano	Jamón
Ácido oleico	Aldehídos y derivados de la oxidación del ácido oleico	Octanal, nonanal, 2-decanal, heptanal, 2-undecanal	Madera, nuez, oleoso y mantecoso
	Alcoholes	1-octanol, 1-hexanol	
Ácido linolénico	Aldehídos	2-hexanal, 3-hexanal, 2,4,7-decadienal, propanal, 2-pentanal, 2,4-heptadienal, 2,5-octadienal	Aroma a verde
	Alcoholes	1-pentanol	
Ácido palmitoleico	Alcoholes	1-hexanol	Césped recién cortado
Ácido miristoleico	Alcoholes	1-propanol, 1-butanol	Alcohol, medicinal
Esterificación de alcoholes y ácidos carboxílicos	Cetonas (metilcetonas)	2-heptanona, 2-decanona, 2-undecanona	Frutal
		2-decanona	Grasa
		2-heptanona	Queso azul
		3-hidroxi-2-butanona	Fresa
		2,3-butanediona	Mantequilla
Hidrólisis de triglicéridos y fosfolípidos	Ácidos carboxílicos	Ácido acético, ácido butírico	Agrio
Interacción de ácidos grasos libres y alcoholes de la oxidación lipídica	Ésteres	Metil-2-metil-propanoato, etil-butanoato, etil-2-metilbutanoato	Notas frutales Carmelo-dulce
		Metil-hexanoato	Carne cocida
Degradación de lípidos	Lactonas	γ -lactonas	Carne
Oxidación de grasas	Hidrocarburos aromáticos	<i>p</i> -xileno y <i>m</i> -xileno	Ahumado fenólico
		<i>o</i> -xileno	Caramelo, frutal

1. INTRODUCCIÓN

Tabla 11. Compuestos volátiles generados en el jamón curado a partir de proteínas y su relación con la síntesis de aromas.

Precursor	Precursor 2	Compuesto	Aroma descrito
Valina		2-metilpropanal	Tostado, afrutado, acre, verde
Isoleucina		2-metilbutanal	Rancio, almendra amarga, tostado, curado, verde éter
Leucina	Aldehídos de Strecker	3-metilbutanal	Afrutado, almendra amarga, tostado, curado, verde
Metionina		Metional	Carne hervida, jamón curado, asado
Fenilalanina		2-feniletanal	Miel, floral, jacinto
Glicina		Metanal	Etéreo
Alanina		Etanal	Picante, fruta
A partir de aminoácidos azufrados mediante la degradación de Strecker	Compuestos azufrados	Dimetil disulfuro	Pies
		Metional	Patata cocida
Hidroperóxidos	Hidrocarburos alifáticos	Alcanos, alquenos y alcadienos	Almendra amarga

1.3. CALIDAD DIFERENCIADA EN JAMONES Y PALETAS. JAMONES CONVENCIONALES Y ECOLÓGICOS

El consumidor demanda, no solo productos que satisfagan sus necesidades nutricionales, sino que además ofrezcan algo más, como una experiencia sensorial, nutrientes de alto valor biológico que sean capaces de aportar beneficios a la salud y bienestar de la persona que lo consume, alimentos elaborados con materias primas respetuosas con los animales y el medio ambiente, productos de proximidad, así como elaboraciones tradicionales y sostenibles (Andersen *et al.*, 2005). Con la idea de satisfacer este tipo de demanda surgen las marcas de calidad diferenciada, entre las que se encuentran las denominaciones de origen protegido (DOP), las indicaciones geográficas protegidas (IGP), la especialidad territorial garantizada (ETG) y la certificación de producto ecológico, que tratan de revalorizar productos asociados a un tipo de elaboración y/o a una zona o zonas concretas dando lugar a alimentos con unas características específicas y particulares. El Reglamento UE 1151/2012 sobre los regímenes de calidad de los productos agrícolas y alimenticios especifica los requisitos necesarios para cada una de las marcas de calidad.

1. INTRODUCCIÓN

En concreto en España existen cuatro ETG, entre las que se encuentra el jamón serrano que en-2014 solicitó el reconocimiento como IGP al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Hasta la fecha sigue pendiente de recibir dicho reconocimiento a nivel europeo. Dentro de las marcas de calidad diferenciada, en España existen cinco DOP's asociadas a jamón curado, en concreto: Jabugo (con presencia supraautonómica en Andalucía y Extremadura), Guijuelo (con presencia supraautonómica en Castilla y León, Castilla-La Mancha, Andalucía y Extremadura), Los Pedroches (Andalucía), Dehesa Extremadura (Extremadura) y Jamón y Paleta de Teruel (Aragón), además de dos IGP's ambas pertenecientes a la Comunidad Autónoma de Andalucía (Jamón de Serón y Jamón de Trevélez). Las características de los jamones y paletas bajo estas certificaciones de calidad vienen fijadas en el pliego de condiciones de cada uno de ellas. De todas, la primera que se inscribió en el registro de DOP fue la de Jamón de Teruel (que más tarde pasó a llamarse Jamón y Paleta de Teruel) en 1984 y es la única DOP que emplea razas de cerdo blanco para la obtención de sus jamones y paletas. Permitiendo que razas como *Landrace* (línea madre), *Large White* o cruce *Large White* con *Landrace* y *Duroc* (línea padre) formen parte del patrimonio genético que da lugar a sus jamones y paletas.

Como particularidades de la DOP Jamón y Paleta de Teruel cabe mencionar que los animales empleados como reproductores no pueden destinarse a la elaboración de jamón, los machos tendrán que estar castrados y las hembras no podrán estar en celo en el momento del sacrificio. En cuanto a la alimentación, ésta debe proceder de elaboradores de piensos compuestos dentro del área geográfica de la provincia de Teruel o provincias limítrofes (Zaragoza, Guadalajara, Cuenca, Valencia, Castellón y Tarragona) y basarse fundamentalmente en cereales, como mínimo del 50%. Respecto al sacrificio se deberá realizar con un ayuno de 12 horas previas, cuando la canal presente un peso superior o igual a 86 kg y con un espesor de tocino dorsal entre 16 y 45 mm (Orden DRS/1825, 2017).

Una vez se ha procedido al despiece de la canal y a la obtención de las piezas que van destinadas a la elaboración de jamón o paleta, se debe mantener una temperatura entre $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$. En cuanto al proceso de elaboración se especifica que, durante el salado, las piezas deben estar en contacto con la sal entre 0.65 y 1 día por kg de peso fresco. El lavado se realiza con agua para eliminar la sal adherida y el asentamiento o post salado se lleva a cabo en cámaras a una temperatura máxima de $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa superior al 70%, permaneciendo las piezas en esta fase como mínimo 60 días los jamones y 30 las paletas.

1. INTRODUCCIÓN

El curado se realiza en secaderos naturales con las características ambientales propias de la zona y con un control de la ventilación, humedad relativa y temperatura, pudiendo tener el secadero equipos que permitan la distribución del aire. El periodo de envejecimiento o maduración dura como mínimo 60 semanas para jamones y 36 para paletas. En este período se desarrollarán los componentes responsables de aroma y sabor.

El resultado del proceso debe ser una pieza que se caracteriza por presentar una forma alargada, perfilada y redondeada en sus bordes, hasta la aparición del músculo, mostrando toda la corteza o perfilada en “V”, con un peso superior a los 7 kg para los jamones y superior a los 4.5 kg para las paletas. El color de la carne al corte debe ser rojo oscuro y brillante, con grasa parcialmente infiltrada, jugosa, con presencia de los mohos típicos en la superficie o limpia con aceite o manteca.

La marca de calidad de los productos ecológicos es algo que va mucho más allá de un producto con unas características propias y justificables dentro de un ambiente o localización concreto, sino que se trata de productos que proceden de animales criados en condiciones de libertad donde pueden expresar su comportamiento normal, además del resto de aspectos sobre la producción, manejo y la alimentación diferenciada que reciben estos animales. Todo ello siempre supervisado por los controles oficiales (públicos o privados), asegurando así que se cumple con todas las exigencias que garanticen la trazabilidad y la calidad. Los productos elaborados bajo esta marca son garantía de calidad nutricional, organoléptica, sanitaria y emocional al cubrir aspectos como el respeto al medio ambiente y la producción sostenida, aspectos que cada vez demanda más el consumidor a la hora de adquirir los alimentos (Ventanas *et al.*, 2007a).

1.4. PRODUCTOS CÁRNICOS CURADOS EN ESPAÑA. DATOS DEL SECTOR

La industria cárnica es el cuarto sector industrial en España e incluye mataderos, salas de despiece e industrias de elaborado. En total existen cerca de 3000 empresas, que desempeñan actividad en este sector industrial. En cifras de negocio, se trata de la primera industria con 26882 millones de euros, suponiendo el 22.6% del sector de alimentación. De todas las carnes que se procesan, la de porcino se encuentra a la cabeza con un 84.8% del total de carnes producidas en España en 2019 (ANICE, 2020).

1. INTRODUCCIÓN

En el 2019 se ha producido una reducción en volumen de todos los tipos de carne (carne fresca, congelada y transformada) respecto al año 2018, y en cuanto a valor, la que mayor incremento ha tenido, es la carne transformada con un 3.3% (MAPA, 2020b). La tabla 12 muestra la diferencia porcentual, del valor económico y del volumen de consumo, de la carne fresca, congelada y transformada, entre las cifras del año 2018 y 2019 en España.

Tabla 12. Variación (%), del año 2018 al 2019, del valor económico y volumen de consumo en función del tipo de carne.

Tipo de carne	Variación del año 2019 al 2018	
	Valor económico (%)	Volumen de consumo (%)
Total carne	1.2	-1.3
Carne fresca	0.2	-1.4
Carne congelada	- 1.4	-2.9
Carne transformada	3.3	-1.0

Fuente: Informe del consumo alimentario en España 2019. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2020b).

De todos los productos que engloba la carne transformada, el jamón y la paleta curados procedentes del cerdo blanco se encuentran en segundo lugar en cuanto a volumen y el primero en lo que se refiere a valor económico. En relación con los datos del 2019 el jamón y la paleta curados han sufrido el mayor incremento en sus porcentajes tanto en valor económico como en volumen con un 14.3% y un 25.6%, respectivamente con respecto al año 2018. Esto evidencia la preferencia de los consumidores por el jamón, ya que es un producto de calidad diferenciada con mucho arraigo y tradición en España.

Durante el año 2019, el consumo medio por persona al año fue de 45.24 kg de carne, incluyendo en este consumo, la carne fresca, la carne congelada y la carne transformada de todas las especies. A pesar de la elevada cantidad, supone un 1.10 kg menos de consumo con respecto al del año 2018. La tabla 13 muestra los datos del consumo doméstico, así como la variación porcentual con respecto a los valores del año 2018 (MAPA, 2020b). El consumo en cuanto a volumen ha disminuido un 1.3%, incrementándose el valor económico en un 2.6%, dato que coincide con la caída de volumen de venta en el 2019 con respecto al 2018.

1. INTRODUCCIÓN

Tabla 13. Consumo doméstico del total de carne en España en 2019. Variación (%) del consumo entre 2019 y 2018.

	Consumo doméstico de carne en 2019	Variación (%) 2019 vs. 2018
Volumen (millones kg)	2 086 812.85	- 1.3%
Valor (miles €)	14 315 433.65	- 1.2%
Consumo per cápita (€)	45.24	- 2.4%
Gasto per cápita (€)	310.37	0.1%
Parte de mercado volumen (%)	7.27	-1.0%
Parte de mercado valor (%)	20.60	-0.2%
Precio medio (€/kg)	6.86	2.6%

Fuente: Informe del consumo alimentario en España 2019. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2020b).

El descenso en el consumo global de carne, indica un cambio en las tendencias, hacia dietas con menor presencia de carne, aunque algunos autores indican que los seres humanos como omnívoros están unidos al consumo de carne y no están dispuestos a cambiar este comportamiento, aun cuando puedan presentar efectos potencialmente indeseables sobre la salud (Valli *et al.*, 2019). Siendo las cuestiones éticas y algunas limitaciones extremas de enfermedades, los factores que principalmente van a condicionar el consumo de carne entre la población, de tal manera que el cambio de comportamiento nutricional, relacionado con el comportamiento de los valores éticos, la formación de identidad y los movimientos sociales existentes pueden ser particularmente efectivos en la generación del cambio, ya que la reducción del consumo excesivo de carne podría generar amplios beneficios sociales para la salud humana, el bienestar animal y el medio ambiente (Mathur *et al.*, 2020).

Estas tendencias coinciden con las recomendaciones de algunas autoridades sanitarias, indicando que la reducción del consumo de carne, debe ir acompañado, de un consumo de carne de mayor calidad (Carroll y Doherty, 2019), aunque muchos de los esfuerzos para informar al público no hayan convencido a suficientes personas para cambiar su consumo.

En cualquier caso, existe controversia sobre si el consumo de carne y qué tipo de carne tiene malas repercusiones sobre la salud, o sobre algunas enfermedades como el cáncer y las enfermedades cardiovasculares. Muchos estudios informan sobre los potenciales riesgos para la salud de la carne (Levine *et al.*, 2014), otros estudios indican que los resultados sobre los efectos en la salud del consumo de carne no son significativos (Kappeler *et al.*, 2013), algunas revisiones concluyen que la carne

procesada y las carnes rojas son probablemente cancerígenas (Bouvard *et al.*, 2015), mientras que otras revisiones concluyen que la evidencia que respalda la asociación entre el consumo de carne roja y el cáncer de colon y la enfermedad cardiovascular es débil (McAfee *et al.*, 2010).

En cualquier caso, a pesar de esta falta de evidencia consistente, se ha defendido durante mucho tiempo la reducción del consumo de carne para reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y varios tipos de cáncer. De hecho, la reducción de la ingesta de carne generalmente está respaldada en las pautas dietéticas y nutricionales.

Las recomendaciones generales, indican que la dieta debe ser variada, y en ella se debe proporcionar más calorías procedentes de los alimentos vegetales y menos de la carne teniendo en cuenta las posibles propiedades promotoras de la salud, así como la preocupación por los problemas medioambientales, y el mantenimiento de las tradiciones gastronómicas. De tal manera, que aspectos de componente hedónico (si gusta mucho o no), racional (color, olor, etc.) y emocional (situaciones vividas, estado anímico, etc.) influyen sobre la decisión final del consumidor a la hora de elegir los alimentos (Lorido *et al.*, 2018).

2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

2.1. OBJETIVOS

España es uno de los países donde tradicionalmente se han realizado productos cárnicos curados, siendo el jamón, el producto más emblemático y con mayor valor comercial. En líneas generales, durante el transcurso de curación del jamón, la carne se somete a un proceso de salazón y a un largo período de deshidratación/maduración, durante el cual la dinámica de la migración del agua y las sales se equilibra y se desarrolla el sabor característico.

A partir de 1992, en la Comisión Europea se elaboró un marco legislativo común para proteger y promover productos alimenticios cuya calidad o popularidad estuviese vinculada al territorio, a las materias primas o a los procesos técnicos desarrollados tradicionalmente en la zona geográfica específica. En España una parte importante de la producción de jamón curado, está bajo la larga trayectoria de certificación, con denominación de origen protegida, como el "Jamón y paleta de Teruel", que se produce en la zona de la provincia de Teruel, a partir de cerdos blancos y mínimo de nueve meses de curación/secado al aire. También sobre 1992 se activa a nivel europeo, los protocolos para regularizar la producción ecológica. Desde entonces, este sistema productivo está en continuo crecimiento de producción y expansión de mercado, posicionándose la producción ecológica y el consumo de alimentos ecológicos, como alternativa para mejorar la sostenibilidad del sistema alimentario. Además, la producción ecológica ha demostrado ser un medio para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de Naciones Unidas, en concreto por el objetivo 2 (Hambre Cero) y el objetivo 12 (Consumo y Producción Responsables).

El estado del arte evidencia los estudios que analizan la composición química de jamones blancos de la "DOP Jamón de Teruel" relacionándolo con diferentes elementos que pueden afectar a su calidad, pero no se han encontrado estudios que incluyan entre esos factores la correspondencia con el tipo de secado (secado en cámara o al natural con ventana abierta) o que incorporen entre las materias primas a analizar, jamón ecológico certificado. Tener información sobre estos aspectos podría ser de utilidad para el sector a la hora de elaborar productos de calidad diferenciada, así como para proporcionar datos que puedan emplearse en el Análisis de Ciclo de Vida que en febrero de 2020 ha iniciado el Consejo Regulador de la "DOP Jamón y Paleta de Teruel".

2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

Por ello, el principal objetivo del presente trabajo es contribuir aportando datos sobre la evolución en la composición de la carne, a lo largo del proceso de secado-maduración, en la elaboración de jamón curado. Teniendo en cuenta las variables que se han introducido en el estudio, procedencia del pernil, tecnología aplicada en el proceso de secado, etc., los objetivos específicos del presente trabajo son:

Objetivo 1. Estudiar la influencia del sistema productivo (ecológico y no ecológico) sobre parámetros de composición nutricional y de la fracción volátil del pernil, a lo largo del proceso de curación del jamón.

Objetivo 2. Estudiar la influencia de la materia prima de diferentes procedencias, carne semigrasa no ecológica, carne amparada bajo la “DOP Jamón y Paleta de Teruel” y carne de cerdo procedente de sistemas ganaderos certificados en ecológico, sobre parámetros de composición nutricional y de la fracción volátil, a lo largo del proceso de curación del jamón.

Objetivo 3. Estudiar la influencia del sistema de secado-maduración, en concreto, secado natural con ventana abierta y secado en cámara, sobre parámetros de composición nutricional y de la fracción volátil, a lo largo del proceso de curación del jamón.

Objetivo 4. Estudiar la influencia de los efectos cruzados de la procedencia de la carne de cerdo y del sistema de secado-maduración, sobre parámetros de composición nutricional y de la fracción volátil, a lo largo del proceso de curación del jamón.

Objetivo 5. Estudiar la influencia del origen de la materia prima y el sistema de secado-maduración sobre la composición de la fracción volátil de la carne en el momento de la recepción y el jamón elaborado.

2.2. PLAN DE TRABAJO

A fin de dar cumplimiento a los objetivos planteados se estableció un plan de trabajo participado con un secadero de jamones, ubicado en Cedrillas (Teruel), amparado bajo la DOP “Jamón y paleta de Teruel” e inscrito en el Comité de Agricultura Ecológica de Aragón. Todas las muestras analizadas en el presente estudio provienen del citado secadero, que cuenta con los certificados de calidad establecidos para las procedencias a evaluar en el trabajo y con las instalaciones tradicionales para llevar a cabo el secado a ventana abierta y el secado en cámara controlada. La integridad del proceso, desde la recepción de la carne fresca, hasta el momento final del proceso de curación, se llevaron a cabo en el mismo secadero, transcurriendo un tiempo desde la recepción de los perniles hasta el final del proceso del secado/curado de 18.5 meses.

Para realizar el estudio se seleccionaron un total de 36 perniles:

- 12 procedentes de animales de sistemas productivos de ganadería ecológica certificada.
- 12 procedentes de animales de cerdo blanco de sistemas productivos intensivos de ganadería no ecológica.
- 12 procedentes de animales de cerdo blanco de sistemas productivos intensivos de ganadería no ecológica, que reúnen las características para la elaboración de la DOP Jamón y Paleta de Teruel.

De las doce piezas seleccionadas de cada procedencia, seis se derivaron para el secado en cámara controlada y seis al secado con el sistema tradicional, natural, de ventana abierta. Cada lote se identificó mediante código de barras y todas las fases del proceso se monitorizaron por un responsable en el secadero.

A lo largo del secado se realizaron cuatro muestreos, siempre sobre la misma pieza y en momentos críticos del proceso. Los momentos del muestreo (figura 8) fueron a la recepción de la materia prima en el secadero, en post salado (aproximadamente a los tres meses), durante el período de secado-maduración (a los ocho meses desde la entrada de la pieza) y al final del proceso (a los 18.5 meses).

2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

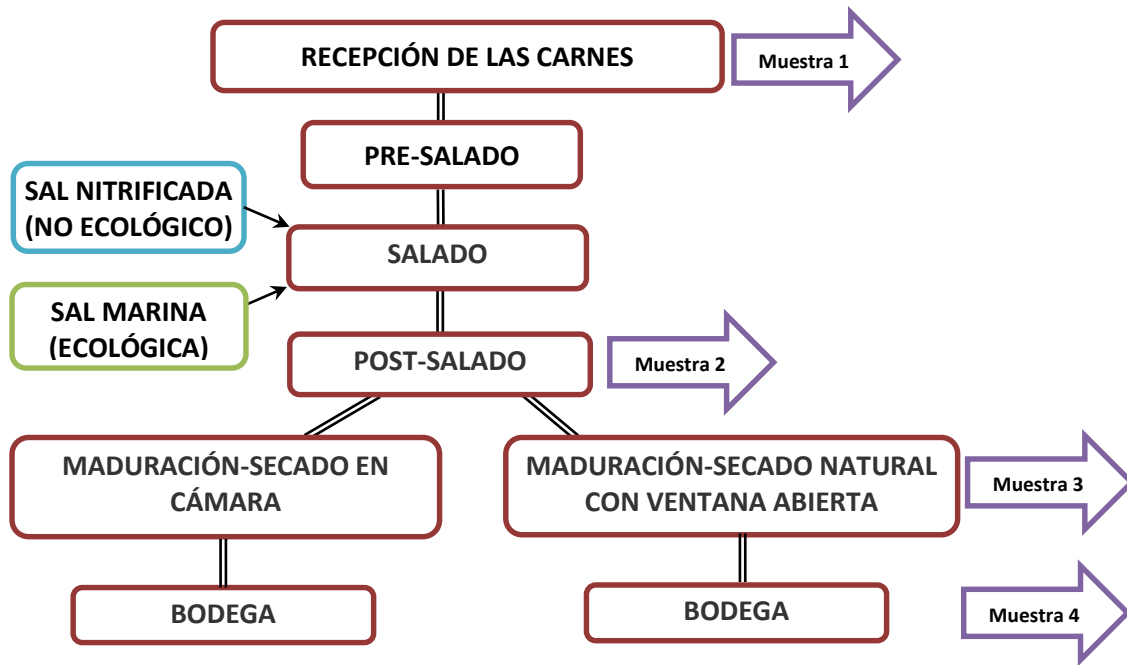


Figura 8. Momentos de toma de muestras en función de los momentos críticos del proceso.

Los parámetros a evaluar en cada muestra (Muestra 1, Muestra 2, Muestra 3 y Muestra 4) son:

- Parámetros de color en la carne (L^* , a^* y b^*), C^* y H^* .
- Contenido en humedad (%).
- Contenido en grasa (%).
- Contenido en proteína (%).
- Contenido en minerales totales o cenizas (%).
- Contenido en sodio (mg/100 g).
- Contenido en hierro (mg/100 g).
- Contenido en ácidos grasos (%).
- Índices de calidad de la grasa.

2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

Además, en las muestras de carne (Muestra 1) se determina la presencia de antibióticos. En la Muestra 4 se determina la presencia de nitratos y nitritos, como residuo final en el jamón. Y en las muestras de la carne inicial (Muestra 1) y de jamón curado (Muestra 4) se determina el perfil aromático o de componentes volátiles.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. PROCEDENCIA Y TRAZABILIDAD DE LAS MUESTRAS

Las muestras de carne de todo el estudio proceden de un secadero situado en Cedrillas (Teruel) (40°26'08.8"N 0°51'08.1"W) una de las zonas de interior, con un número alto de horas frío ambientales, donde de forma tradicional ha albergado instalaciones para llevar a cabo el secado y curación de alimentos cárnicos.

El secadero donde se lleva a cabo la transformación cuenta con unas instalaciones capaces de secar 250000 piezas. La empresa lleva más de 60 años secando al natural jamones de cerdo, siendo de las pioneras en el sector cárnico ecológico español desde el año 2000. Dispone de zona de recepción de materia prima, cámaras de salado, cámaras de post salado, salas de acondicionado (tanto cámaras con parámetros de control, como salas de secado al natural con ventana abierta), bodegas y salas de envasado. Desde 2015 dispone de una planta de desalinización para minimizar los impactos medioambientales de las salmueras.

La población de Cedrillas se encuentra a 1345 m de altitud, dentro de un entorno natural privilegiado de alta montaña, el clima se caracteriza por ser frío y seco. Las temperaturas medias oscilan entre los 0 °C y los 15 °C, en el mismo día, factores climáticos muy favorables para garantizar el secado, además medioambientalmente el aire es limpio, ya que se trata de una zona libre de industrias emisoras de gases contaminantes o productos de combustión, manteniendo el aire con parámetros de calidad ecológica.

El secadero recibe los perniles, directamente de la sala de despiece, quedando limitada la trazabilidad hacia atrás al documento de recepción de las piezas y a los certificados correspondientes a las figuras de calidad. La materia prima llega a una temperatura de 2 °C con una identificación inequívoca de la procedencia a la que pertenecen (convencional, ecológico o DOP Teruel), pero se desconoce la explotación de la que proceden, no pudiendo conocer la composición nutricional de los piensos con los que se alimenta a los animales. El peso de las piezas oscila entre los 10.5 y 12.5 kg, en función del lote. La trazabilidad se mantiene a lo largo de todo el proceso, según se establece en los protocolos, estando totalmente separadas y codificadas, las piezas ecológicas, de las piezas no ecológicas o convencionales. La empresa se encuentra amparada bajo la DOP "Jamón y paleta de Teruel" e inscrita en el Comité de Agricultura Ecológica de Aragón, pudiendo realizar producto ecológico certificado, por lo que según las

3. MATERIALES Y MÉTODOS

normativas vigentes están supeditadas a las revisiones e inspecciones de las citadas figuras de calidad diferenciada.

En todos los casos, los perniles proceden de animales castrados y sacrificados cuando alcanzan aproximadamente los 85-90 kg, coincidente con una edad desde el nacimiento de unos 6-8 meses, excepto en los animales de procedencia ecológica, donde la ratio de crecimiento es más lenta y suelen llevarse al matadero con 10-12 meses de vida, como mínimo.

Todos los perniles proceden de razas de cerdo blanco, en concreto de razas que componen el cruce autorizado para elaborar jamón de la “DOP Teruel” que son *Large White* y *Landrace*, o un cruce de ambas, por línea materna con *Duroc* por línea paterna.

El espacio vital de los animales procedentes de granjas de ganadería intensiva varía en función del gramaje y del estado de cría del animal, siendo el espacio mínimo para estas granjas convencionales de 0.65 m² por cerdo. Para la producción ecológica, las condiciones son muy restrictivas, y como mínimo, cada cerdo, debe contar con una zona cubierta de al menos 1.5 m² y también acceso a un área exterior de 1.2 m². Y más allá del espacio mínimo por animal, las explotaciones ecológicas deben contar con grandes extensiones (715 m² de pasto por cabeza) para garantizar el control del impacto medioambiental de los residuos y que los animales dispongan de espacio para el libre movimiento. Estos datos son los que de forma genérica se emplean, no siendo los propios de las explotaciones implicadas en el estudio, puesto que no se dispone de la relación de ganaderías que aportan los jamones.

Respecto a la alimentación, no se tiene información concreta, pero de forma general los cerdos de capa blanca se alimentan de piensos compuestos en un 70% por cereales (mínimo 50%) y en el caso de los animales de producción ecológica, la base de su alimentación puede ser parecida, pero con el requisito de que todas las materias primas procedan de cultivos ecológicos y cubran las necesidades nutricionales de los animales en las diversas etapas de su desarrollo, además deben estar libres de semillas modificadas genéticamente y que en su producción no se hayan empleado sustancias químicas de síntesis, tal y como marca el reglamento europeo. Por otra parte, los lechones deben ser alimentados con leche materna, con preferencia sobre la leche natural, durante un periodo mínimo de 40 días, frente a los 20-25 días de lactancia de los lechones de producción no ecológica (Reglamento UE 848/2018).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Dentro del secadero, los perniles sujetos al proceso de secado y curación, siguen los siguientes pasos:

- Recepción a la temperatura de 2 °C de la carne fresca desangrada. Proceso que siguen de forma idéntica todos los perniles, diferenciando la hora de recepción, en función de la procedencia. Así, los procedentes de explotaciones ganaderas ecológicas, son los primeros que se reciben y procesan en la jornada.
- Salado o salazón. Proceso que consiste en cubrir las piezas de carne fresca con cloruro sódico o sal común, sal gruesa, para que la salazón de la carne se realice lentamente. Para este proceso la temperatura de la cámara se encuentra a 2 °C y la humedad relativa del 90%. El proceso consiste en cubrir homogéneamente las piezas de carne húmeda para facilitar la dilución y penetración de la sal, depositando capas alternas de perniles y sal, hasta un máximo de seis capas. Los perniles enterrados en sal se depositan en el interior de contenedores plásticos, perforados para facilitar la salida de líquidos y debidamente identificados, según el tipo de materia prima. La cantidad de sal y el tiempo de salado son datos que se reservan los maestros jamoneros, y de ello depende el punto óptimo de sal en el paladar y el equilibrio para garantizar la seguridad alimentaria. De forma orientativa, se indica que un jamón deberá permanecer en la cámara de salado, un día por cada 1 kg de peso fresco del pernil, en este caso el pernil estará entre 11 y 12 días. Para facilitar la distribución homogénea de la sal, a mitad del periodo de salazón, se realiza un volteo de las piezas.

En las piezas de producción no ecológica, para el proceso de salazón se emplea una mezcla compuesta por un 6% de nitrito de sodio y un 94% de sal común. Para las piezas de producción ecológica se emplea 100% sal marina certificada ecológica.

- Lavado. Tras la fase de salazón, los jamones son lavados con agua a una temperatura próxima a los 24 °C para eliminar el excedente de la sal superficial. Esta operación es común en todos los jamones del estudio, manteniendo en todos los casos la trazabilidad de las piezas.
- Asentamiento o post salado. Este proceso se realiza con los jamones colgados en cámaras a una temperatura de 4 °C y a una humedad relativa del 80%. La finalidad de esta fase es alcanzar un equilibrio salino o asentamiento, entre la cantidad de sal en el exterior del jamón y el interior del mismo. Para ello, se debe conseguir la correcta difusión de la sal entre las distintas masas musculares del jamón e ir eliminando lentamente, pero a un ritmo constante, la humedad de la carne.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La duración del proceso de asentamiento es de unos 80 a 90 días dependiendo del peso del jamón. Esta operación es común en todos los jamones del estudio, manteniendo en todos los casos la trazabilidad de las piezas.

- **Curado.** El proceso de curado incluye las fases de secado y maduración. El secado tiene como finalidad principal reducir la cantidad de agua presente en la carne. Así, durante los primeros días después del post salado, tiene lugar un secado lento de los jamones, bajo unas condiciones de temperaturas bajas y alta humedad relativa, que facilitan la difusión de la sal a través de la carne. La maduración tiene como objetivo la deshidratación paulatina del pernil y el sudado o fusión natural de parte de las grasas del tejido adiposo, en el tejido muscular. La mitad de los pernils, incluyendo las repeticiones de las tres procedencias de la carne, se someten a un proceso de curado en cámara a temperaturas entre 14 °C y 25 °C, en función del momento del secado, y una humedad relativa del 75%. La otra mitad de los pernils post salados, incluyendo las repeticiones de las tres procedencias de la carne, se llevan al secadero natural con ventanas abiertas, donde las condiciones climáticas van a ser principalmente las responsables del proceso de secado. Durante el tiempo de maduración (12 meses), las jaulas donde se depositan los pernils se van moviendo alrededor del espacio disponible, para una mayor distribución de las condiciones de aireación.
- **Envejecimiento.** Se trata de la última fase del proceso de elaboración del jamón. En esta fase del proceso, el jamón reafirma sus características organolépticas (sabor, olor, color y textura). El proceso de envejecimiento se lleva a cabo en bodega natural o en cámara, a temperaturas de 12 °C y una humedad relativa del 70%. El tiempo de permanencia en bodega depende de la clasificación del producto final, y en este caso, las piezas se llevan a 18.5 meses. A lo largo del periodo de envejecimiento, los jamones se cubren con la propia grasa para garantizar la jugosidad y evitar que se sequen. Esta operación es común en todos los jamones del estudio, manteniendo en todos los casos la trazabilidad de las piezas.

3.2. CONDICIONES DE LAS INSTALACIONES DE SECADO

Las instalaciones del secadero y de las cámaras de curación presentan condiciones de higiene, temperatura, humedad y ventilación que permiten producir la inhibición del desarrollo de microorganismos, los valores de los parámetros de control deben evitar la desecación superficial del jamón, para facilitar la penetración de la sal hacia el interior de la pieza.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se han realizado, por parte de una empresa acreditada, determinaciones del aire para valorar la calidad del mismo y su valía para el proceso de secado del jamón. Se ha evaluado el aire en el interior del secadero, así como en las cámaras y en el exterior adyacente al secadero. La figura 9 muestra la distribución de puntos donde se ha realizado el análisis del aire. En concreto de la parte superior se han tomado cuatro puntos, dos del aire exterior (aire 1 y aire 2) y dos del secadero natural, coincidentes las ventanas adyacentes (ventana 1 y ventana 2). De la parte del interior del secadero natural se han tomado otros dos puntos (secadero 1 y secadero 2), dos puntos más de la parte de secadero controlado por renovación del aire (control 1 y control 2) y otros dos puntos de las cámaras de secado con control artificial de las condiciones de secado (cámara 1 y cámara 2).



Figura 9. Visión aérea del secadero y localización de los puntos de control del aire.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Los parámetros analizados en todos los puntos han sido, la temperatura (°C), la humedad relativa (%), concentración en CO₂ (ppm), cantidad de partículas totales (µg/m³), recuento (48 h a 36 °C) de bacterias aerobias que puedan ser patógenos potenciales, recuento (72 h a 22 °C) de saprófitos totales y recuento (120 horas a 25 °C) de mohos y levaduras, los recuentos se expresan en unidades formadoras de colonias (ufc/m³).

La tabla 14 muestra los resultados de los parámetros analizados en todos los puntos. Se observa que las temperaturas del interior y exterior del secadero en condiciones naturales oscilan entre los 13.1 (interior del secadero natural) y los 16.4 °C (exterior parte frontal de la fachada, más soleada que el resto de las localizaciones), lo que lleva a oscilaciones de 3.3 °C, mientras que las temperaturas de las cámaras de condiciones controladas, muestran temperaturas promedio de 27 °C (siendo de 30 °C la temperatura de trabajo habitual de estas cámaras). En cualquier caso, las temperaturas de las zonas exteriores son muy similares a las de las zonas de secado natural, ligeramente más bajas en esta área debido a que se trata de una zona cubierta, con sombra y por la que circulan corrientes de aire.

Tabla 14. Resultados de los parámetros de calidad del aire.

Puntos	Parámetros						
	T (°C)	HR (%)	CO ₂ (ppm)	Totales (µg/m ³)	Aerobias (ufc/m ³)	Saprófitos (ufc/m ³)	Mohos y levaduras (ufc/m ³)
Aire 1	16.4	45	385	30	60	1060	260
Aire 2	14.6	49	360	26	190	540	290
Ventana 1	14.8	57	309	26	140	460	260
Ventana 2	15.0	48	363	24	150	320	320
Secadero 1	13.1	54	305	25	130	930	400
Secadero 2	15.6	53	370	25	210	510	450
Control 1	15.4	60	1025	15	110	220	170
Control 2	14.3	67	868	38	110	670	210
Cámara 1	26.7	52	965	89	20	80	20
Cámara 2	27.6	51	1100	76	70	280	20

La humedad relativa muestra los valores más bajos en el exterior del secadero (45-49%), valores más altos y estables para los espacios de las cámaras de condiciones controladas (51-52%) y de las zonas de los secaderos al natural (53-54%). La zona de ventana 2 muestra valores de humedad relativa similares al exterior en este punto, mientras que en la zona de la ventana 1 la humedad relativa es ligeramente más alta, debido a la localización de este punto.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Los valores más altos de humedad relativa son los que se regulan en las zonas del secadero controlado por renovación del aire (60-67%). En el interior de la zona de secado natural se establece como es lógico un gradiente de humedad desde las zonas centrales hacia las zonas perimetrales. Dado que las piezas están secándose, la humedad en el centro del recinto es mayor que cerca de las ventanas, pero en todo caso se llega a alcanzar un valor promedio del 55% sólo un 10% superior a la humedad relativa del promedio del exterior. En el caso de la zona de secado natural los valores de humedad relativa son casi idénticos a los de la zona de exterior.

La concentración de dióxido de carbono muestra valores que oscilan desde los casi 900 ppm a los 1100 ppm para las cámaras y las zonas donde se realiza el secado por recirculación de aire. En estas zonas de secado por recirculación, la ausencia de ventanas impide que el CO₂ se diluya como en la zona natural. De modo que a pesar de que el recinto se ventila con entrada forzada de aire, los valores de CO₂ son aproximadamente el triple que en la calle y en la zona de secado natural. Así, para el resto de las ubicaciones, la concentración de CO₂ es significativamente más baja, entre los 300 y 385 ppm.

En las zonas de las cámaras, debido a la escasa renovación de aire, el número de partículas totales muestra valores promedio altos de unos 83 µg/m³, mientras que, para el resto de las zonas, los valores de partículas totales son casi tres veces inferiores a los valores de las cámaras. En las áreas del secadero natural y en las zonas de secado por recirculación de aire, los resultados son muy parecidos al exterior e incluso algo menores, ya que cuando la humedad ambiental es alta, las partículas se agregan y pesan más, por lo que existe una fracción de partículas que se depositan por gravedad, quedando menos partículas en suspensión.

En cuanto a los recuentos microbiológicos hay que destacar que los microorganismos en el aire están asociados a las partículas en suspensión. Por ello, cabría esperar unos resultados de la misma tendencia, pero el resto de factores, como temperatura, humedad y grado de aportación del aire exterior (nivel de CO₂), van a influir también en las fracciones microbiológicas. Así, cuando en el aire exterior hay una cierta cantidad de microorganismos y el aire entra en el secadero, el recuento en el interior debería ser al menos igual que el del aire exterior, más los que provengan del propio ambiente interior. En el caso de que la estancia no tenga aporte significativo de aire exterior el recuento esperado se corresponderá con lo que pueda existir en la zona. Además, si la humedad relativa es alta, suelen

3. MATERIALES Y MÉTODOS

encontrarse recuentos bajos por deposición de las partículas aglomeradas, y pueden encontrarse mayores colonizaciones de hongos por la preferencia de estos microorganismos por los espacios húmedos.

Las bacterias aerobias presentan en general recuentos bajos en los aires carentes de ocupación por personas (cámaras). En la zona del exterior el recuento varía en función de la zona de control y en promedio, las unidades formadoras de colonias por unidad de volumen, en las zonas de exterior son inferiores al recuento de la zona de secadero natural y de recirculación de aire.

En el recuento de microorganismos saprófitos totales se observa un descenso pronunciado desde los valores promediados de la zona exterior, hasta la zona de los secaderos al natural, un descenso más acusado en las zonas de recirculación de aire por mayor humedad y menor renovación de aire que en la zona natural, y una bajada intensa en el ambiente de las cámaras, debido también a la menor renovación de aire y la selección contrala de temperatura que conlleva determinar también la humedad.

Otro importante factor de reducción de crecimiento de microorganismos en los ambientes de menor flujo de aire exterior es que los niveles de CO₂ son mucho mayores, por lo que el requerimiento aerofílico de la flora ambiental se ve impedido y por ello su presencia es menor en el ambiente más viciado, ello justifica también la bajada de los recuentos desde el secadero natural a la zona de ventilación forzada y finalmente en las cámaras.

En el caso de los recuentos de mohos y levaduras el efecto es análogo, pero con unos recuentos muy similares de los mohos de la zona exterior de la calle y las zonas del secadero natural, algo superiores en éste, debido al flujo de aire exterior y la mayor humedad en el secadero.

En conclusión, la calidad del aire de las zonas abiertas del secadero natural es adecuada para llevar a cabo los procesos de secado y curación del jamón, incluso con algunas variables de calidad, como el número de partículas totales, en mejor criterio que el encontrado en las cámaras de secado controlado artificialmente.

3.3. TOMA DE MUESTRAS

En total se han realizado cuatro muestreos a lo largo de los 18.5 meses del periodo de curación del jamón.

Muestra 1. A la recepción de materia prima.

Muestra 2. A los 90 días de la recepción de la materia prima, coincidente con el momento final de asentamiento o post salado del pernil.

Muestra 3. A los 245 días de la recepción de la materia prima, es decir tras los 145 días de permanencia de los jamones en el proceso de maduración-secado, bien en cámara o bajo el sistema de secado natural con ventana abierta.

Muestra 4. A los 555 días desde la recepción de la materia prima, es decir tras pasar 310 días en la bodega del secadero.

Las muestras se han tomado en todos los casos sobre las mismas piezas, para evitar la variabilidad por efecto de la materia prima, suponiendo para cada tratamiento, un total de seis jamones. La toma de muestra ha sido aleatoria, pero siempre registrada en la zona de la punta. En cada momento se ha obtenido la misma cantidad de muestra (aproximadamente 100 g) mediante corte de la pieza empleando una puntilla afilada.

La zona de elección para la recogida de muestras en cada uno de los jamones fue la punta, que se corresponde con los músculos glúteo medio, superficial y profundo, tensor de la fascia lata, glúteo bíceps y obturador externo. Esta zona se caracteriza por tener más contenido graso que magro, así como un elevado grado de infiltración. Durante el proceso de secado, por el modo en el que se cuelgan los jamones es la parte que recoge la grasa que éste va exudando. La figura 10 muestra la ubicación morfológica de la zona de recorte de las muestras, así como la correspondencia con los músculos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

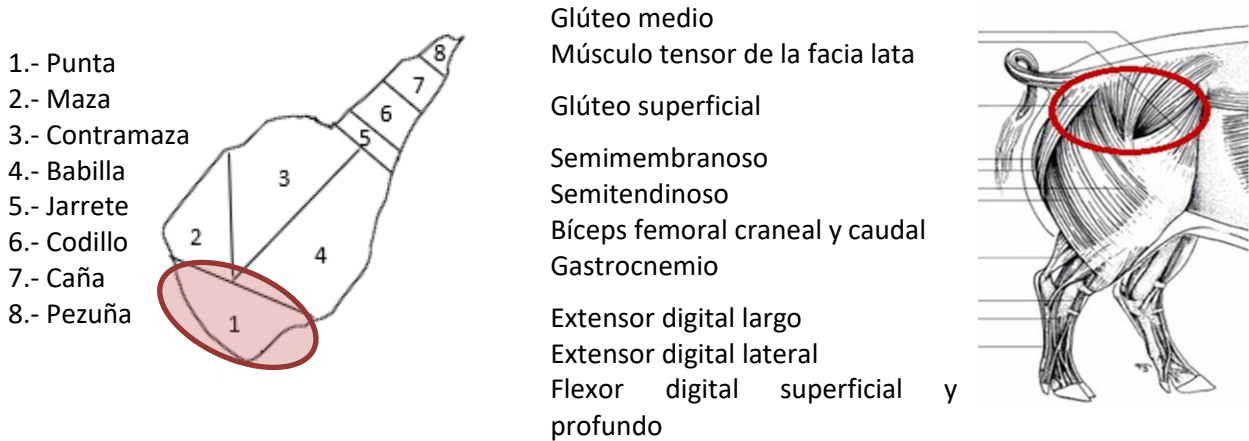


Figura 10. Zona de toma de muestra en la pierna del jamón (izquierda). Musculatura de la pata de cerdo identificando en rojo los músculos externos relacionados con la punta (derecha).

Para la toma de muestras entre muestreo y muestreo, en las mismas piezas, se ha dejado un cinturón de salvaguarda para evitar interacciones entre los diferentes cortes. Este punto ha sido un punto crítico en la toma de muestras, ya que la realización de cortes, *a priori*, pueden dificultar el proceso global del secado. Algo que sí ha tenido un efecto sobre las piezas secadas en cámara, pero que no ha causado problemas en los jamones secados en ventana abierta. Así, en algunas piezas de jamón secadas en cámara, los cortes realizados para obtener la muestra, han producido piojillo o ácaro del jamón (*Thyrophagus putrescentiae*) y con ello, inhibición del crecimiento superficial del moho característico del proceso de curado (figura 11). Ello ocasionó que, en estas piezas con defectos curadas en cámara, más de la mitad del jamón se desechó e invalidó para el estudio.

Por el contrario, las piezas de jamón sometidas al secado natural a ventana abierta, mostraron toda la superficie con el típico moho de color saludable. Los cortes realizados para obtener las muestras quedaban cubiertos por el moho, sin presencia de piojillo (figura 11).

La recogida de muestras se ha realizado en todos los casos en idénticas condiciones, por un responsable del secadero, quien recolectaba y enviaba las muestras debidamente identificadas al laboratorio de la UPV, en recipientes individuales estériles, identificadas con una etiqueta que garantiza el sistema de trazabilidad (figura 12).

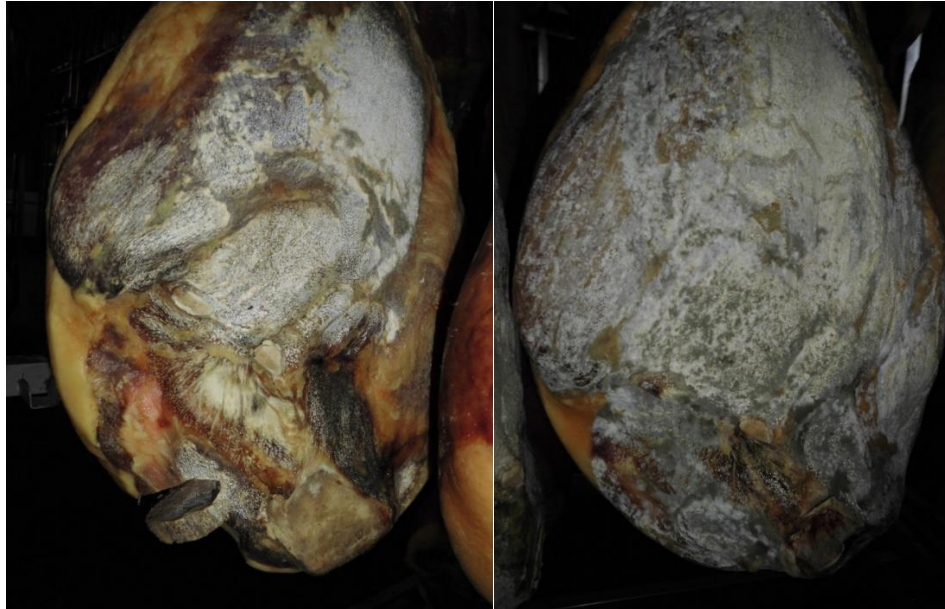


Figura 11. Pieza de jamón de secado en cámara con crecimiento de piojillo e inhibición de mohos (izquierda) y pieza de jamón secado con ventana abierta (derecha).

Posteriormente se codifican a nivel interno (tabla 15). El transporte desde el secadero a la UPV se realizaba en el mismo día de la recolección en cajas de poliestireno con bolsas de frío, para garantizar la cadena de frío.



Figura 12. Detalle de recepción de muestra en el laboratorio de la UPV, con la identificación del secadero y la codificación interna.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Tabla 15. Codificación de las cuatro muestras, en relación del origen de la materia prima y del tipo de secado.

Materia prima	Secado	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
No ecológica	Ventana	1-11 a 1-16	5-11 a 5-16	8-11 a 8-16	15-11 a 15-16
	Cámara	1-21 a 1-26	5-21 a 5-26	12-21 a 12-16	15-21 a 15-26
Ecológica	Ventana	2-11 a 2-16	7-11 a 7-16	10-11 a 10-16	14-11 a 14-16
	Cámara	2-21 a 2-26	7-21 a 7-26	10-21 a 10-26	14-21 a 14-26
DOP Teruel	Ventana	3-11 a 3-16	6-11 a 6-16	9-11 a 9-16	13-21 a 13-26
	Cámara	4-21 a 4-26	6-21 a 6-26	11-21 a 11-26	13-11 a 13-16

3.4. METODOLOGÍA ANALÍTICA

Las determinaciones analíticas se han realizado según los métodos adaptados de *Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 2000)*. Todos los parámetros en cada muestra se han realizado por triplicado.

3.4.1. Recepción y tratamiento de la muestra

Las muestras se reciben en el laboratorio y se mantiene la cadena de frío a una temperatura entre 0 y 4 °C. Las muestras sin procesar se someten a la determinación de los parámetros del color, con la pieza íntegra y posteriormente se retira la corteza (excepto en las primeras muestras de carne fresca).

El tratamiento de la muestra consiste en una trituración y homogeneización. Las muestras que no se procesan de forma inmediata, se congelan trituradas en viales herméticos, a la temperatura de -20 °C.

3.4.2. Determinación de los parámetros de color

Para la determinación de los parámetros del color se utiliza un colorímetro (Konica Minolta Photo Imaging Inc., Mahwah, NJ, EEUU) para superficies alimentarias, que permite determinar el color mediante la obtención de tres coordenadas representadas por los parámetros L^* , a^* y b^* , dentro de la escala CIELAB, donde L^* es la luminosidad o claridad ($L^*=0$ corresponde a colores muy oscuros y $L^*=100$ corresponde a colores muy claros); a^* es el parámetro que se acerca o aleja del rojo y verde (valores negativos de a^* indican verde mientras valores positivos indican rojo) y b^* es el parámetro que se acerca o aleja del amarillo y azul (valores negativos de b^* indican azul y valores positivos indican amarillo).

Con los parámetros de a^* y b^* se determina el croma (C^*) y la tonalidad (H^*), empleando las fórmulas siguientes:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$H^* = \arctan \frac{b}{a}$$

El tono o matiz es la propiedad del color asociada con la longitud de onda dominante en una mezcla de ondas de luz. La saturación es el parámetro que muestra la pureza relativa o la cantidad de luz blanca mezclada con un tono dado.

3.4.3. Determinación de la humedad

La humedad de las muestras se determina por gravimetría. Para ello, en un crisol limpio y seco, se pesan con exactitud (en balanza analítica monoplato Cobos con una precisión de ± 0.001 g), aproximadamente 4 g de carne picada y homogeneizada, y se introducen en una estufa de aire forzado (P-selecta Digitronic, Abrera, Barcelona, España) a la temperatura de 100 °C, hasta peso constante. Transcurrido el tiempo de secado los crisoles se introducen en un desecador y posteriormente se vuelven a pesar. El contenido en humedad expresado en porcentaje se calcula mediante la fórmula:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{peso total inicial (g)} - \text{peso total final (g)}}{\text{peso de la muestra húmeda (g)}} \times 100$$

Donde:

peso total inicial = peso (g) del crisol + peso (g) de la muestra húmeda

peso total final = peso (g) del crisol + peso (g) de la muestra desecada

peso de la muestra húmeda = cantidad de muestra de carne (g)

3.4.4. Determinación del contenido mineral total

El contenido mineral total, expresado como contenido en cenizas totales, de las muestras se determina por gravimetría. Para ello se pesan con exactitud (en balanza analítica monoplato Cobos con una precisión de ± 0.001 g), en un crisol limpio y seco, aproximadamente 2 g de muestra triturada y homogeneizada, desecada previamente en estufa a 100 °C, durante 30 minutos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Posteriormente los crisoles se introducen en una mufla (Carbolite, Parsons Lane Hope Valley, England) donde se calcinan las muestras a la temperatura de 450 °C durante 5 horas. El contenido mineral total, expresado en porcentaje de cenizas se calcula mediante la fórmula:

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{\text{peso total inicial (g)} - \text{peso total final (g)}}{\text{peso de la muestra húmeda (g)}} \times 100$$

Donde:

peso total inicial = peso (g) del crisol + peso (g) de la muestra húmeda

peso total final = peso (g) del crisol + peso (g) la muestra calcinada

peso de la muestra húmeda = cantidad de muestra de carne (g)

Las cenizas obtenidas se utilizan para la determinación individual del contenido en hierro y sodio. Para ello, es necesario mineralizar las cenizas, para ello se añaden a las cenizas humedecidas con unas gotas de agua destilada, 1 mL de ácido nítrico puro (1.41 g/mL). A continuación, se ponen los crisoles sobre una placa calefactora hasta la producción de humo de color anaranjado, momento en el que se retiran y se dejan enfriar. Posteriormente se filtran las disoluciones ácidas, aforando la disolución con agua destilada hasta los 100 mL. La disolución obtenida se conserva en recipiente tapado, hasta la medición de los correspondientes elementos.

3.4.5. Determinación del contenido en grasa

La determinación del contenido en grasa se realiza en dos fases, en una primera fase se lleva a cabo una hidrólisis ácida que rompe las uniones de los lípidos enlazados tanto covalente como iónicamente a proteínas e hidratos de carbono (Nielsen, 2003). Para ello, se pesa 1 g de muestra en un vaso de precipitado y se añaden 150 mL de HCl 4 N, tapando rápidamente con un vidrio de reloj para evitar salpicadura. A continuación, se lleva a ebullición suave durante una hora y media en una placa calefactora (Fisher Scientific, Bishop Meadow Road, Loughborough, Great Britain).

Una vez acabada la hidrólisis se deja enfriar y posteriormente se filtra la disolución obtenida con papel de filtro *Whatman* y se lava con agua destilada hasta que el filtrado no de reacción ácida con el papel de tornasol. Los filtros conteniendo la muestra se secan durante 12 h a temperatura ambiente y se introducen en la estufa a 100 °C durante una hora.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La segunda parte del método consiste en la extracción de la grasa, mediante un equipo Soxhlet semiautomático (Foss ST 243 Soxtec, Hilleroed, Denmark). Para ello, los pocillos del equipo se secan en estufa, se dejan enfriar en desecador y se pesan. Los filtros secos de la fase de hidrólisis se introducen en un cartucho de papel de filtro con 0.5 g de sulfato sódico anhidro para posteriormente ser introducidos en los dedales de celulosa que se colocan en el equipo para la extracción de la grasa. En cada uno de los pocillos metálicos se vierten 60 mL de éter de petróleo, se introducen los cartuchos en el equipo y se pone en marcha el programa, consistente en sumergir durante 30 minutos los cartuchos en el éter de petróleo, 1 hora y media de goteo por gravedad de la parte soluble, 8 minutos de evaporación y 3 minutos de secado.

Al acabar la extracción se introducen los pocillos en la estufa durante una hora para completar la evaporación del éter de petróleo, se enfrían en un desecador y se pesan. La cantidad de grasa, expresada en porcentaje, se calcula mediante la fórmula:

$$\text{Grasa (\%)} = \frac{\text{peso final del pocillo (g)} - \text{peso inicial del pocillo (g)}}{\text{peso de la muestra (g)}} \times 100$$

Donde:

peso final del pocillo = peso (g) del pocillo + peso (g) la grasa extraída

peso inicial pocillo = peso (g) del pocillo inicial

peso de la muestra = cantidad de muestra de carne (g)

3.4.6. Determinación del contenido en proteína

La cantidad de proteína se determina a partir del contenido total en nitrógeno empleando el equipo Kjeldhal Foss Tecator 2006 (Foss, Hilleroed, Denmark), de determinación semiautomática de nitrógeno, que consta de una batería de digestión 2006 digestor Foss Tecator y de un equipo de destilación 2100 kjeltec distillation unit Foss Tecator. Para ello se pesan 0.4 g de la muestra picada y homogeneizada y se añaden 2 g de mezcla de catalizadores (K_2SO_4 , $CuSO_4$ y Se en las proporciones 100:10:1, en peso) y 10 mL de mezcla de ácidos (H_3PO_4 y H_2SO_4 , en proporción 95:5) para llevar a cabo la digestión húmeda a 250 °C durante 30 minutos. Transcurrido el tiempo de digestión se dejan enfriar las muestras alrededor de 10 minutos y se añaden cuidadosamente 50 mL de agua destilada.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La segunda parte de la determinación del nitrógeno consiste en una destilación, donde el amoníaco formado durante la digestión se destila y pasa a una disolución de ácido bórico que contiene los indicadores, azul de metileno y rojo de metilo.

La última fase de la determinación consiste en una valoración. El anión borato generado es proporcional a la cantidad de nitrógeno formado y se determina volumétricamente frente a ácido sulfúrico valorado (Matissek *et al.*, 1992; Nielsen, 2003).

Es necesario realizar un blanco para sustraer a los resultados el nitrógeno que puede arrastrar los reactivos durante el proceso. El valor del nitrógeno se obtiene de la fórmula:

$$N \text{ total (\%)} = \frac{(V_m - V_b) \cdot f \cdot N \cdot 14}{\text{peso de la muestra (mg)}} \times 100$$

Donde:

V_m = Volumen de H_2SO_4 (mL) gastados en la muestra

V_b = Volumen de H_2SO_4 (mL) gastados en el blanco

f = Factor del H_2SO_4

N = Normalidad del H_2SO_4

Peso de la muestra húmeda (mg)

El porcentaje de nitrógeno se transforma en el porcentaje de proteína multiplicando por 6.25 que es el factor de corrección para el caso de la carne y el jamón, esto significa que en promedio, las proteínas del jamón contienen un 16% de nitrógeno.

3.4.7. Determinación del contenido en sodio

El fundamento de la determinación de sodio se basa en la emisión espectral medida a 590 nm en el fotómetro de llama (Jenway modelo FPF7 Cole-Parmer Ltd. Beacon Road, Stone, Staffordshire, United Kingdom), con llama estequiométrica empleando aire y butano como gases, comparando las lecturas obtenidas de la muestra mineralizada con las de una curva patrón. Los resultados se expresan en mg de sodio sobre 100 g de carne fresca, teniendo en cuenta las disoluciones efectuadas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Con los valores del contenido en sodio, se determina el contenido en cloruro sódico mediante la relación estequiometrica de la sal:

$$\text{Cloruro sódico (mg/100g)} = \frac{\text{Na} \times 58.45}{23}$$

3.4.8. Determinación del contenido en hierro

El contenido en hierro se determina por métodos de absorción atómica de las disoluciones mineralizadas de las muestras de carne y jamón. Para ello, se realizan las lecturas de la absorbancia en el espectrofotómetro de absorción atómica de llama "Thermo Elemental Solaar S Series nº de serie s710612v1 (Thermo, Waltham, Massachussets, EEUU) a la longitud de onda de 248.3 nm.

El método experimental para la determinación del contenido en hierro consiste en la realización de la curva de calibrado, a partir de alícuotas de la disolución patrón de 100 mg de Fe L⁻¹. Se efectúan las lecturas de absorbancia con el espectrofotómetro de absorción atómica equipado con llama de aire-acetileno, tanto de la curva patrón, como de las muestras a la longitud de onda fijada. El cálculo de la concentración en hierro, se realiza por interpolación en la recta. Los contenidos de las muestras se expresan en mg de hierro sobre 100 g de carne fresca.

3.4.9. Determinación del perfil lipídico

La determinación cuantitativa y cualitativa de los ésteres metílicos de los ácidos grasos se realizó mediante cromatografía de gases siguiendo el método oficial y empleando el cromatógrafo de gases Varian Star 3400cx. Ese equipo consta de inyector automático Combipal CTC y detector FID (detector de llama), utilizando una columna modelo RTX 2330 Restek (10% cianopropilfenil polioxilano). La rampa de temperaturas se programaba a la temperatura inicial de 70 °C, manteniéndose por 3 minutos y luego se aumentaba hasta 260 °C (10 °C/min). El gas de arrastre empleado es helio, la temperatura del inyector es de 230 °C y la temperatura del detector de 260 °C.

Para obtener los ésteres metílicos de los ácidos grasos de la carne y del jamón se depositan las muestras de grasa en viales de 4 mL, se añaden 2 mL de heptano y se agitan ligeramente. Acto seguido, se añaden 0.2 mL de KOH 2 N y se agitan enérgicamente durante 30 segundos. Para facilitar una separación correcta, se centrifugan durante 10 minutos a 400 rpm y se dejan reposar 24 h a la temperatura de 4 °C, para que la fase superior que corresponde al heptano con los ésteres metílicos,

3. MATERIALES Y MÉTODOS

quede lo más clara posible. Dicha fracción se transfiere a viales de cromatografía quedando la muestra lista para ser inyectada. El patrón interno utilizado es una mezcla de ésteres metílicos de ácidos grasos “Custom fame mix” (Restek, ref. 553985). El cromatógrafo tiene un límite de detección de 0.02%.

El método se basa en la separación física de los ingredientes de la grasa mediante la utilización de la columna cromatográfica específica. En la columna, mantenida a la temperatura elevada, se inyecta una porción de la muestra a analizar y se hace pasar a través del tubo un flujo de helio, que finalmente alcanza el detector. El gas arrastra los ingredientes de la muestra de grasa de la carne o jamón, a través del tubo. Cuando una sustancia alcanza el detector, colocado al final de la columna, éste activa el registrador.

El registrador representa la altura en función del tiempo, dando lugar a una gráfica que muestra un pico correspondiente al intervalo de tiempo (tiempo de retención) en que está saliendo una sustancia de la columna. El área incluida en el pico generado gráficamente es proporcional a la cantidad de la sustancia en la alícuota inyectada.

Los metil ésteres de los ácidos grasos se identifican por comparación con los tiempos de retención de los estándares. El contenido de los ácidos grasos (AG), expresado en mg de ácido graso/g de carne se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$AG (\%) = \frac{\text{área del pico del ácido graso}}{\text{concentración estándar del patrón interno}} \times 100$$

3.4.10. Determinación del índice de aterogenicidad

El índice de aterogenicidad o índice aterogénico (IA) de los ácidos grasos es una relación entre la suma de los principales ácidos grasos saturados [láurico (C12), mirístico (C14) y palmítico (C16)] y la de los principales ácidos grasos mono (AGMI) y poliinsaturados (AGPI). Se trata de un índice que informa sobre el potencial de obstrucción de las arterias, ya que por un lado el numerador marca la capacidad pro-aterogénico (favorece la adhesión de los lípidos a las células de los sistemas inmunológico y circulatorio), y el denominador marca la capacidad anti-aterogénico (inhibiendo la agregación de la placa y disminuyendo los niveles de ácidos grasos esterificados, colesterol y fosfolípidos, previniendo la aparición de enfermedades micro y macrocoronarias) (Ulbricht y Southgate, 1991; Garaffo *et al.*, 2011). Mientras más bajo sea el IA, menor es el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares.

La determinación del índice de aterogenicidad se calcula partiendo de las concentraciones individuales de los ácidos grasos y aplicando la expresión:

$$IA = \frac{[(4 \cdot C12:0) + (C14:0) + (C16:0)]}{[\sum AGMI + AGPI]}$$

3.4.11. Determinación del índice de trombogenicidad

El índice de trombogenicidad o índice trombogénico (IT) de los ácidos grasos muestra la tendencia a formar coágulos en los vasos sanguíneos. Esta tendencia se define como la relación entre los ácidos grasos pro-trombogénicos (saturados) y los ácidos grasos anti-trombogénicos (AGMI, AGPI- ω 6 y AGPI- ω 3) (Ulbricht y Southgate, 1991).

La determinación del índice de trombogenicidad se calcula partiendo de las concentraciones individuales de los ácidos grasos y aplicando la expresión:

$$IT = \frac{(C14:0) + (C16:0) + (C18:0)}{(0.5 \cdot AGMI + 0.5 \cdot AGPI_{\omega 6} + 3 \cdot AGPI_{\omega 3}) + \frac{AGPI_{\omega 3}}{AGPI_{\omega 6}}}$$

Además, se determinan otros índices de calidad de la grasa relacionados con combinaciones de los diferentes ácidos grasos.

3.4.12. Determinación de la presencia de antibióticos

Para la detección de antibióticos en la matriz cárnica se emplea el test de antibióticos Explorer 2.0 de Zeulab que permite la identificación de 50 tipos de antibióticos de 8 clases distintas reconocidos por la legislación de la Unión Europea, en concreto por el Reglamento (UE) nº 37/2010 de la Comisión. El test está validado a nivel interno de la empresa que lo produce mediante la norma ISO 13969:2003 y por parte de la agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El principio se basa en la inhibición del crecimiento de *Geobacillus stearothermophilus* presente en los tubos de reacción del test. Si existe presencia de antibióticos, el tubo no vira de morado a amarillo al no acidificar el medio con su crecimiento tras 3 horas de incubación. En la preparación de la muestra se pesan $3 \text{ g} \pm 0.5 \text{ g}$ de carne magra, sin tejido conjuntivo ni adiposo, en un tubo que se pone al baño maría (de modo que cubra la muestra) al microondas en la función de descongelación durante 3 minutos hasta que la muestra esté completamente cocinada. Posteriormente se extrae la carne con unas pinzas y se recogen $100 \mu\text{L}$ del jugo liberado que se añaden a los tubos de Explorer 2.0 y se dejan incubar durante 20 minutos a temperatura ambiente.

A continuación, se vuelca el contenido del tubo, se lava con agua destilada y se vacía hasta eliminar completamente los restos de jugo de carne y se cubre con una lámina adhesiva para llevarlo a incubación a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 3 horas, paralelamente se prepara un blanco con agua destilada. La presencia de color morado en la disolución tras la incubación indica la presencia de antibióticos, el color amarillo en la disolución tras la incubación indica un resultado negativo a la presencia de antibióticos.

3.4.13. Determinación del contenido en nitratos y nitritos

La determinación de nitratos y nitritos en la carne cuenta con una primera fase de extracción y otra de determinación. En la fase de extracción se pesan con exactitud 3 g de carne y se añaden 50 mL de agua destilada. Para facilitar la extracción, la mezcla se lleva a agitación durante 20 minutos y posteriormente se filtra. Al tratarse de compuestos químicos altamente solubles en agua, el extracto presentará en disolución las posibles concentraciones de las sales nítricas.

La determinación de los nitritos se realiza por técnicas espectrofotométricas UV/V, para ello se toman 20 mL del extracto y se añade 1 mL de 1-naftil-etilen-diamina (NED) y 2 mL de sulfanilamida, enrasando a 25 mL con agua destilada. Paralelamente se prepara una curva patrón (de 0 a 0.8 ppm) y se procede a la medición a la longitud de onda de 540 nm . El cálculo de la concentración en nitritos, se realiza por interpolación en curva de calibrado. Los contenidos de las muestras se expresan en mg de nitritos sobre 1000 g de carne fresca.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La determinación del contenido en nitratos se realiza por técnicas electroquímicas, empleando un electrodo selectivo de nitratos. Para ello se toma 1 mL del extracto y se añade agua destilada hasta los 40 mL y 0.8 mL de tampón sulfato $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ 2 M. La medida se realiza directamente introduciendo el electrodo selectivo de nitratos en la disolución, hasta la estabilización de la señal. Los contenidos de las muestras se expresan en mg de nitratos sobre 1000 g de carne fresca.

3.4.14. Determinación de la fracción volátil

La determinación de la fracción volátil de la carne inicial y del producto final (jamón de 18.5 meses) se realizó mediante técnicas de cromatografía gaseosa-masas (GC-MS). La determinación se lleva a cabo en dos fases, en una primera se realiza la microextracción de los componentes volátiles y en una segunda fase la determinación y cuantificación de los componentes.

Para la microextracción se introduce la muestra triturada y homogeneizada en viales de extracción *Head Space* (HS) de 20 mL, que se sellaba herméticamente con un diafragma (Butyl/PTFE gray, AChroma, Müllheim, Alemania) y un tapón de aluminio, para la extracción *Solid Phase Micro-extraction* (SPME). El equilibrio entre las fases se alcanza calentando el vial en baño de agua a 40 °C, durante 30 minutos.

El soporte SPME y la fibra (*SPME Fiber assembly* 65 mm PDMS/DUB, 23 ba) precisan de una etapa previa de acondicionamiento durante 1 h a la temperatura de 270 °C en el puerto inyector del cromatógrafo de gases. Para la adsorción de los componentes volátiles, la fibra se coloca en el espacio de cabeza de cada vial a una temperatura de 40 °C, durante 40 minutos y para la desorción térmica, la aguja se introduce en el puerto de inyección (250 °C) del sistema GC-MS durante 30 segundos. Antes del análisis, la fibra se reacondiciona durante a la temperatura de inyección (250 °C) durante 15 minutos, en el puerto inyector de otro cromatógrafo de gases, para evitar el traspaso de compuestos entre muestras.

El equipo empleado en el análisis de los componentes de la fracción volátil es un cromatógrafo de gases modelo 6890 N Network GC System, acoplado directamente a través de un conector *Life-T-effluent* (1:1) a un espectrofotómetro de masas modelo 5973 inert Mass selective detector (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EEUU), con una columna capilar de sílice (5% fenyl-95% metilpolisiloxano como fase estacionaria, 30 m × 0.251 mm × 0.25 mm), siendo el helio el gas portador con un flujo de 1 µL/min a 250 °C. La columna se programó a una temperatura inicial de 40 °C con un tiempo de espera

de 1 minuto. La primera rampa de temperaturas se programó hasta 200 °C con un ratio de 5 °C/min y un tiempo de espera de 1 minuto. La segunda rampa se programó hasta 250 °C con un ratio de 15 °C/min y un tiempo de espera de 3 minutos, manteniéndose el flujo de transferencia a 220 °C. La detección por el espectrofotómetro de masas se realiza en el modo impacto de electrones y la identificación de los componentes volátiles se realiza por comparación del espectro de masas y los valores de otros datos bibliográficos o por comparación con la librería NIST (MS Search 2.0). Los resultados se expresan en porcentaje.

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

El tratamiento estadístico de los datos se realiza con el programa estadístico Statgraphics Plus versión 5.1. El estudio estadístico realizado a los resultados analíticos se ha dividido en:

- Estudio multifactorial. Este análisis se ha realizado para los parámetros de color de la carne y jamón, para el contenido en humedad, cenizas, grasa, proteína, sodio, hierro, el perfil de ácidos grasos y los índices de calidad de la grasa. La finalidad es estudiar individualmente cada uno de los parámetros, en función de las variables dependientes (procedencia de la materia prima, momento del proceso de secado y sistema de secado), así como la interacción entre los factores, en cada momento del muestreo. Como sistema de comparación múltiple en estos análisis de varianza se ha empleado el método de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, con un nivel de significación del 5%.
- El estudio multifactorial también se realiza para las variables del contenido en nitratos y nitritos, correspondientes al Muestreo 4, es decir, evaluando únicamente el efecto de la procedencia de la materia prima y el sistema de secado, cuando los jamones han cumplido 18.5 meses en el proceso de secado-curación.
- Estudio de relaciones lineales entre los diferentes parámetros. Con este estudio se pretende evaluar las posibles relaciones entre los parámetros analizados en todos los momentos de muestreo, empleando el test Durbin-Watson para determinar si existe alguna correlación significativa con un nivel de confianza del 95%. Para este estudio se han analizado las relaciones que han obtenido mayor grado de correlación y que muestran nivel de significación estadística.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

- Estudio de un análisis discriminante como método multivariante de análisis. Este estudio tiene la finalidad de describir en qué medida las variables estudiadas contribuyen, en conjunto e individualmente, a la separación o diferenciación entre la procedencia de la materia prima o el sistema de secado del jamón.
 - Análisis de componentes principales. Se trata de una técnica multivariante que utiliza un procedimiento para obtener un pequeño número de combinaciones lineales de las variables que explican la mayor parte de la variabilidad de los parámetros analizados en el jamón y que explican las correlaciones entre dichos parámetros.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los parámetros analíticos que ponen en valor la calidad del jamón son diversos. Los principales cambios estratégicos que ocurren durante el período de secado y maduración están relacionados con parámetros de calidad afines a la pérdida de agua de los perniles, la absorción de sal, la lipólisis y la proteólisis (Čandek-Potokar y Škrlep, 2012). Con la estandarización del proceso de curado, la calidad final de los jamones se centra en las características intrínsecas, así como en los aspectos de textura y sus características sensoriales (Bosi y Russo, 2004).

La elección de los parámetros analíticos del presente trabajo responde a la evaluación de aspectos de la composición y calidad que pueden dar respuesta a las diferencias entre los tres orígenes de la carne (convencional, ecológico y DOP Teruel) y al sistema de secado (en cámara y con secado al natural o ventana abierta), evaluando la composición desde la entrada de la carne al secadero hasta el final del proceso de secado, a los 18.5 meses. En todos los casos se han evaluado parámetros de color en la carne, el contenido en humedad, el contenido en minerales totales o cenizas, el contenido en grasa, el contenido en proteína, el contenido en sodio, el contenido en hierro y el contenido en ácidos grasos. También para las muestras de carne se determina la presencia de antibióticos, en el producto final o jamón se determina la presencia de nitratos y nitritos. Y para valorar la evolución de los aromas se determinan los componentes volátiles en las muestras de la carne inicial y de jamón curado.

En total se han realizado unos 3500 análisis a lo largo del proceso.

4.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS

En este apartado se van a describir los parámetros de composición estudiados, atendiendo a: sistema de producción (ecológico cuando la carne procede de explotaciones ganaderas ecológicas y no pueden emplearse sales nitrificantes, frente a convencional que incluye la carne procedente de cerdos de la DOP Teruel y de cerdos de ganadería convencional), procedencia (ecológica, DOP Teruel y convencional), momento de curado (diferenciándose los cuatro momentos tipificados, recepción, post-salado, maduración y final) y sistema de secado (método natural con ventana abierta frente a secado en cámara bajo condiciones controladas). Para ello dentro de cada grupo de parámetros se analizarán las diferencias estadísticas al 95% de confianza.

4.1.1. Evaluación de los parámetros del color

El color y la estabilidad del color son algunas de las características de calidad más importantes para el consumidor, siendo la primera impresión que se percibe del producto cárnico (Young y West, 2001). El color de la carne fresca y curada depende de la mioglobina, pero son diferentes entre sí en términos de cómo se forma y de su estabilidad. Una mayor concentración de mioglobina produce un color más intenso. La mioglobina es una proteína soluble en agua que almacena oxígeno para el metabolismo aeróbico en el músculo. Químicamente se trata de una porción de proteína y un anillo no proteínico de porfirina con un átomo central de hierro. Los factores que definen el color de la carne son el estado de oxidación del hierro y qué compuestos (oxígeno, agua u óxido nítrico) están unidos a su porción de la molécula.

Se encuentran diferentes concentraciones de mioglobina en los diversos músculos del animal, debido a que difieren mucho en actividad y por tanto en su demanda de oxígeno. De manera general, los músculos con un metabolismo más oxidativo presentarán mayores concentraciones de mioglobina. Durante el curado de la carne, se forma el pigmento rojo nitrosilmioglobina que, junto con la concentración de mioglobina y el estado de las proteínas, determinarán el color típico del curado (Hui, 2012). Después de la desnaturalización del pigmento, que puede tener lugar como resultado del calentamiento, fermentación o acidificación, o una combinación de baja actividad de agua y alto contenido de sal, se forma el nitrosilmiocromógeno, que es un pigmento rojo/rosa estable (Feiner, 2006). En el caso de jamones que se elaboran sin el empleo de nitratos ni nitritos el color se debe al complejo Zn-protoporfirina IX (ZnPP), que da lugar a un tono más rosado. Este pigmento no se observa en jamones nitrificados puesto que este agente impide que se forme el complejo ZnPP que se genera de manera natural en los productos a los que no se les adicionan estas sales (Adamsen *et al.*, 2006).

La tabla 16 muestra los resultados del análisis multifactorial de la varianza para los parámetros del color, L*, a*, b*, croma (C*) y saturación (H*), en función del momento del proceso de secado, de la procedencia y sistema productivo y del tipo de secado. Además, se muestra el error estándar para cada uno de los resultados. En negrita aparecen los valores que presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 16. Resultados promedio y error estándar de los parámetros del color en función del sistema productivo y la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado.

Factores	Variables	L*	a*	b*	C*	H*
Producción	Convencional	40.17±0.41	4.08±0.17	11.75±0.15	12.55±0.18	1.24±0.01
	Ecológico	40.90±0.58	4.06±0.24	10.99±0.22	11.77±0.25	1.22±0.01
Procedencia	Convencional	40.86±0.58	3.71±0.24	11.31±0.20	12.05±0.24	1.26±0.02
	Ecológico	40.90±0.58	4.06±0.24	10.99±0.20	11.77±0.24	1.22±0.02
	DOP Teruel	39.47±0.58	4.45±0.24	12.20±0.20	13.05±0.24	1.22±0.02
Momento de curado	Recepción	34.62±0.67	4.11±0.27	13.50±0.23	14.23±0.27	1.29±0.02
	Post-salado	42.43±0.67	3.49±0.27	10.37±0.23	11.04±0.27	1.25±0.02
	Maduración	42.75±0.67	4.26±0.27	9.87±0.23	10.79±0.27	1.17±0.02
Sistema de secado	Final	41.84±0.67	4.43±0.27	12.26±0.23	13.10±0.27	1.23±0.02
	Natural	40.50±0.47	4.24±0.19	11.58±0.17	12.43±0.19	1.22±0.01
	Cámara	40.32±0.47	3.90±0.19	11.41±0.17	12.15±0.19	1.24±0.01

Se observa que el sistema productivo es significativo para el parámetro b* y para el croma (C*), la procedencia es significativa para el parámetro a*, para el parámetro b* y para el croma, mientras que el momento de curado es significativo para todos los parámetros de color y el sistema de secado no muestra diferencias significativas en ninguno de los parámetros del color.

El parámetro de la luminosidad (L*) es el atributo de la sensación visual según la cual una superficie emite más o menos luz y varía de 0 para un cuerpo negro hasta 100 para uno blanco, cuanto más cercano esté el valor a 100 más luminosa será la carne, y cuanto más próximo esté a 0, la carne será más oscura. En el presente estudio, los jamones procedentes de sistemas ecológicos, en general dan carnes más luminosas, pero sin mostrar diferencias significativas al 95% de confianza, siendo los jamones de la DOP Teruel, los que proporcionan los jamones con menor nivel de luminosidad. Cuando los jamones se secan en condiciones de “ventana abierta”, la luminosidad de la carne es mayor, aunque las diferencias existentes con los jamones secados en condiciones controladas de cámara no son significativas. La luminosidad oscila desde valores promedio de 34.62 obtenidos en la carne en el momento de la recepción a valores con mayor luminosidad (42.75) obtenidos en el momento de maduración. En concreto las diferencias encontradas se muestran entre los valores de la luminosidad en el momento de la recepción, frente al resto de valores de los tres momentos del curado-secado del jamón (figura 13). Por otro lado, no existen interacciones significativas entre ninguna variable, para el parámetro de la luminosidad, es decir que, en todos los casos, la luminosidad más baja se encuentra en el momento de

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

la recepción de la carne, para subir tras el post-salado y mantenerse en valores próximos a 42 (figura 14).

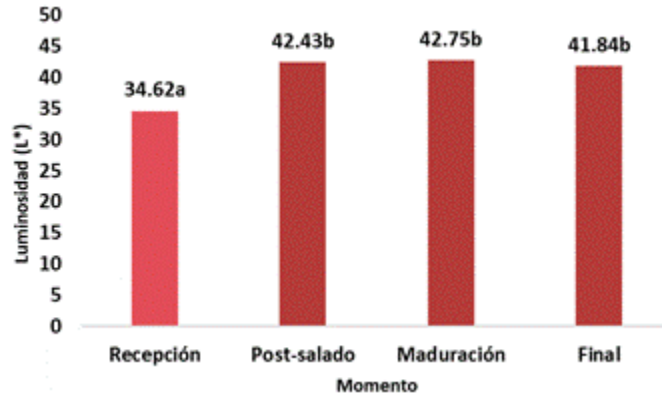


Figura 13. Luminosidad de la carne de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-curado. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

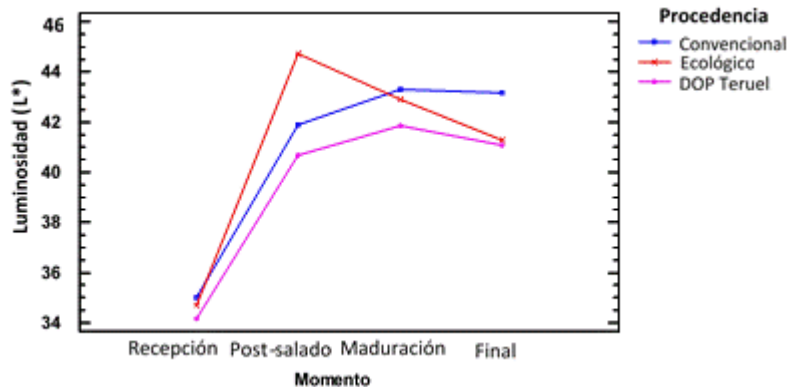


Figura 14. Luminosidad de la carne de jamón. Interacción entre la procedencia y el momento de secado-curado.

El dato de la luminosidad de la pieza al final del periodo de secado (41.84) presenta valores muy similares a los encontrados por Fuentes *et al.* (2014), donde el valor de L* para la muestra del cruce de cerdo ibérico con Duroc es de 40.54.

El dato promedio obtenido de L* para la carne procedente del primer muestreo (recepción de materia prima) presenta un valor de 34.62, lo cual clasificaría esta carne como carne roja según el estudio llevado a cabo por Albertí *et al.* (2008) en carne de ternera donde vieron que la carne roja presentaba una luminosidad de 36.2. No obstante, el valor encontrado es bajo si se compara con los 48.2 obtenidos por Latorre Gorriz *et al.* (2009) en *Longissimus dorsi* de cerdo destinado a la producción

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

de jamón de Teruel, un valor que clasificaría la carne como rosa-blanca. Suponiendo la pérdida de luminosidad a lo largo del proceso conforme el producto se va secando, esta menor luminosidad de la materia prima podría deberse a que la muestra en el muestreo 1 era más magra y a la exudación del agua en el proceso de elaboración del jamón, ya que carnes con mayor contenido en grasa dan valores de L^* superiores (Pérez-Álvarez *et al.*, 1998).

El parámetro de la luminosidad (L^*) se relaciona con el estado físico de la carne, debido al valor del pH final que alcanza la carne del músculo, a la estructura de las fibras musculares y a la cinética implicada para establecer el *rigor mortis*. Los valores similares en las tres procedencias de carne empleadas para la curación del jamón ponen de manifiesto, las idénticas e idóneas condiciones de la carne, independientemente de la procedencia para la finalidad de la curación (Domínguez-Gómez y Raigón, 2018).

El parámetro a^* del color representa una medida del contenido de rojo o de verde. Si un color tiene rojo, a^* será positiva, mientras que, si un color tiene verde, a^* será negativa. En el presente estudio, los jamones procedentes de sistemas convencionales, en general dan carnes con menor presencia del rojo, mostrando diferencias significativas al 95% de confianza, frente a los valores de a^* que presentan los jamones de la DOP Teruel, que son los que proporcionan los jamones con mayor valor de a^* . Cuando los jamones se secan en condiciones de “ventana abierta”, el parámetro a^* del color de la carne es mayor, aunque las diferencias existentes con los jamones secados en condiciones controladas de cámara no son significativas. El parámetro a^* oscila desde valores promedio de 3.49 obtenidos en la carne en el momento de post-salado a valores con mayor valor hacia el rojo (4.43) obtenidos en el momento final, cuando han pasado 18.5 meses desde la recepción. En concreto las diferencias encontradas para el parámetro a^* se muestran entre los valores del jamón de procedencia convencional, frente a los valores que presentan los jamones de la procedencia DOP Teruel. Además, existen interacciones con diferencias significativas con el sistema de secado, ya que cuando el sistema de secado es natural (con ventana abierta), los valores del parámetro a^* en los jamones de procedencia convencional son significativamente superiores a cuando los jamones se procesan en cámara bajo condiciones controladas (figura 15).

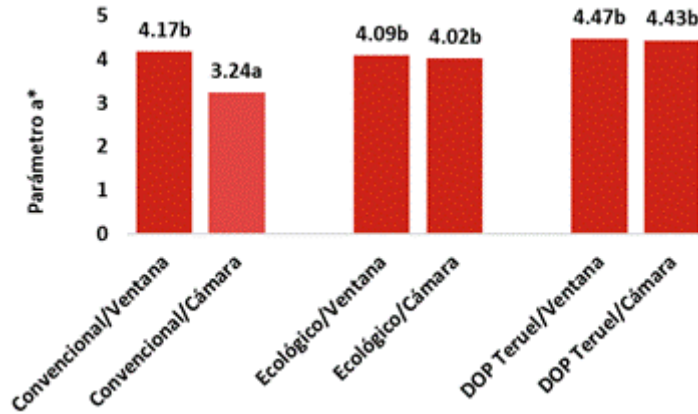


Figura 15. Parámetro a* del color de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

El mayor valor del parámetro a* es para el jamón de la DOP Jamón de Teruel con 4.45 seguido del jamón ecológico con 4.06 y por último el convencional con 3.71, esto coincide con lo citado por diversos autores sobre la coloración similar que alcanzan los jamones, aunque no se adicionen nitratos ni nitritos, logrando un color análogo a aquellos en los que sí se emplean, pero para que esto sea así el proceso de curado debe ser prolongado (Adamsen *et al.*, 2006; Arnau *et al.*, 2013; Parolari *et al.*, 2016) y las temperaturas elevadas, como ocurre al final del proceso de curado (Bou *et al.*, 2020), favoreciendo así la aparición del parámetro a* relacionado con el rojo (Parolari *et al.*, 2016). El mayor índice de rojo en la carne para DOP jamón de Teruel respecto a la carne para jamón convencional parece estar relacionado con el hecho de que los cerdos destinados a la producción de este jamón de calidad diferenciada deben ser privados de alimentos (no de agua) durante 12 horas previas al sacrificio mejorando el pH y el color (Murray *et al.*, 2001).

Por otro lado, también existen interacciones significativas entre el momento del proceso de secado-curado y la procedencia de la carne, siendo la carne de producción ecológica la que muestra los valores más altos en el momento de la recepción y disminuye significativamente el valor del parámetro a* en el momento de post-salado, posiblemente por no adicionar sales nítricas en el proceso, aunque al final del secado-curado. Los valores del parámetro a* del color se nivelan para todos los tipos de jamones estudiados (figura 16).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

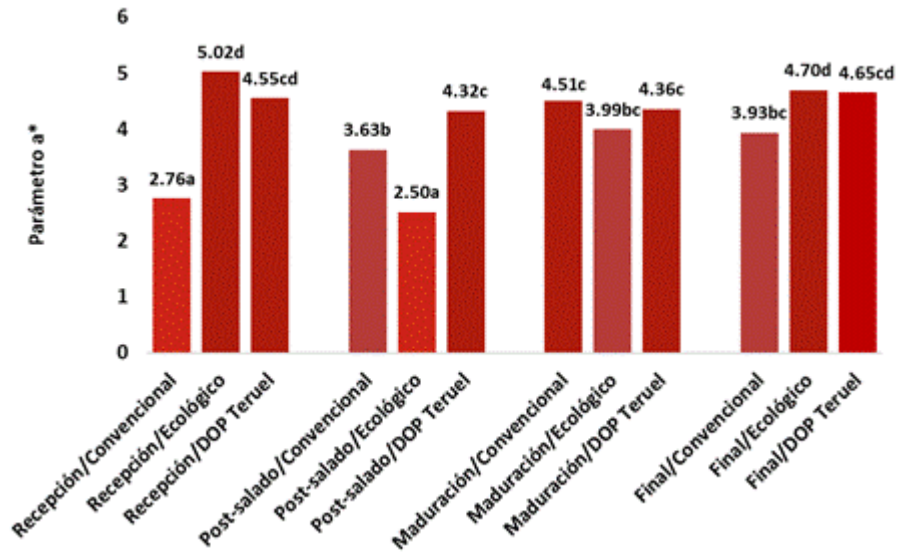


Figura 16. Parámetro a* del color de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

Son numerosos los factores que influyen en la mayor presencia de mioglobina y en consecuencia en la aparición de coloraciones más rojas tales como cantidad del pigmento, estado de la fibra muscular, presencia de oxígeno, cantidad de grasa intramuscular y grado de deshidratación (Castigliero *et al.*, 2012). El mayor contenido en tocoferoles de la carne ecológica que evitan el paso de la oximioglobina a metamioglobina al actuar como antioxidantes (Ruíz *et al.*, 2004) podría contribuir también al mayor valor de a*. Otro aspecto es el hecho que los cerdos criados en extensivo (como los ecológicos), tienen un mayor desarrollo muscular que da lugar a un contenido de mioglobina más elevado (García *et al.*, 1997; Ruíz *et al.*, 2004), que durante el proceso de curado se transformará en el complejo ZnPP.

La sal es un factor que promueve la aparición de dicho pigmento (Benedini *et al.*, 2008; Adamsen *et al.*, 2006; Becker *et al.*, 2012; Bou *et al.*, 2018; Bou *et al.*, 2020) por tres medios, uno al desplazar el Fe de la mioglobina entrando el Zn a formar parte de la molécula (Adamsen *et al.*, 2006; Safa *et al.*, 2017), otro gracias al aumento de la solubilidad de las proteínas que produce que las hemo proteínas queden a disposición de unirse con el Zn y por último, al favorecer la acción de la enzima Zn-quelatasa (Benedini *et al.*, 2008). Según Wakamatsu *et al.* (2019) habría que contemplar otro factor, relacionado con la acción de determinadas bacterias capaces de generar el pigmento. También los ácidos grasos y los fosfolípidos parecen contribuir a la formación del pigmento (Bou *et al.*, 2020). Estas justificaciones

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

explicarían los mayores niveles de rojo encontrados en la materia prima a su recepción, donde el jamón ecológico presenta un valor de a^* de 5.02, frente a los 4.75 y 2.66 de la carne para la elaboración de jamón DOP Teruel y convencional respectivamente. Sin embargo, este orden se invierte cuando se analizan las muestras tras el salado siendo el jamón ecológico el que presenta el parámetro de a^* más bajo 2.5, frente a la DOP (4.32) y al convencional (3.63), lo cual se podría relacionar con el hecho de que en el jamón ecológico no se emplean sales nitrificantes que han demostrado tener un efecto antioxidante (Ventanas *et al.*, 2004; Honikel, 2010; Arnau *et al.*, 2013, Safa *et al.*, 2017) y favorecer la aparición temprana del color curado (Gou *et al.*, 2012).

En cuanto a los valores promedio del parámetro a^* a lo largo del proceso de curado en cualquiera de las tres procedencias se observa que el valor aumenta desde la recepción hasta el final del proceso (de 4.11 a 4.43), viéndose una disminución en la etapa del post-salado (3.49) posiblemente debida a procesos oxidativos (Arnau, 2013) que en momentos iniciales hace que se vaya hacia coloraciones verdosas. Atendiendo al origen de las muestras y el momento de toma de las mismas, al final del proceso, la muestra que tiene el rojo más elevado es la ecológica con 4.70 seguida de la DOP con 4.65 y por último la convencional con 3.93, siguiendo el mismo orden que tenía el valor a^* para las muestras en la recepción. En este caso puede explicarse porque el complejo ZnPP que se forma en los jamones sin nitratos se ve favorecido por el aumento de la temperatura sobre todo entre 25 y 37 °C (Wakamatsu *et al.*, 2004) y por el aumento de pH, estando el óptimo para la formación de ZnPP entre 4.75 y 5.5, dando un pigmento estable rojo brillante como ocurre en el jamón de Parma (Wakamatsu *et al.*, 2019), en contra de lo que Adamsen *et al.* (2006) indicaron sobre valores más elevados de a^* cuando existe adición de nitrito. En el jamón de Parma donde se emplea sal sin nitrificantes para curarlo, se logra el color rojo gracias a la presencia del complejo Znprotoporirina IX (ZnPP). En las fases de post salado y maduración los mayores valores de a^* se encuentran en los jamones para DOP y jamones convencionales, lo que podría explicarse por el efecto antioxidante de los agentes nitrificantes, no estando aún suficientemente presente el pigmento ZnPP debido a que en estas etapas aún no se han dado las condiciones idóneas para su aumento. Este pigmento ZnPP no se encuentra en los jamones elaborados con nitratos y/o nitritos ya que inhiben la aparición del mismo, favorecido también por el aumento de pH a valores superiores a 5.5, donde no se detecta (Arnau *et al.*, 2013).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El parámetro b^* del color representa una medida del contenido de amarillo o de azul. Valores positivos de b^* indican contenido de amarillo, mientras valores negativos de b^* indican contenido de azul. En el presente estudio, los jamones procedentes de sistemas convencionales, en general dan carnes con mayor presencia de amarillo, frente a los jamones de producción ecológica, con diferencias estadísticamente significativas, al 95% de confianza. Así los momentos de post-salado y maduración son los que muestran los valores más bajos del parámetro b^* , sin diferencias en función del sistema productivo para la maduración, pero con valores significativamente superiores en el momento del post-salado para los jamones de producción convencional. En el resto de momentos se encuentran diferencias significativas en los valores del parámetro b^* , con comportamiento diferente en función del sistema productivo, ya que en la recepción los mayores valores son para las carnes de procedencia ecológica, mientras que en el momento final los mayores valores son para los jamones de producción convencional (figura 17).

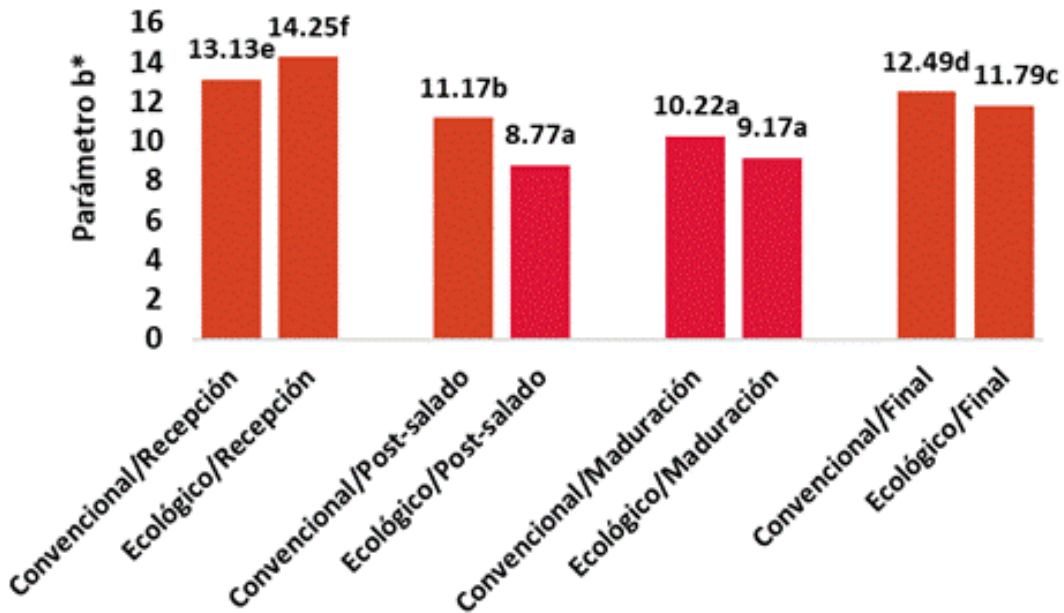


Figura 17. Parámetro b^* del color de la carne de jamón y nivel de significación en función del sistema productivo y del momento de secado-maduración. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En función de la procedencia, las diferencias en el valor del parámetro b^* del color también son significativas, siendo los jamones de procedencia DOP Teruel los de mayor valor de b^* , seguidos de los de procedencia convencional, mientras que la procedencia ecológica de la carne proporciona los jamones con menor valor de b^* . Cuando los jamones se secan en condiciones de “ventana abierta”, el parámetro b^* del color de la carne es mayor, aunque las diferencias existentes con los jamones secados en condiciones controladas de cámara no son significativas.

El parámetro b^* muestra los valores más bajos en los momentos de post-salado y maduración, siendo los valores promedio del momento final ligeramente inferiores a los del momento de la recepción (figura 18).

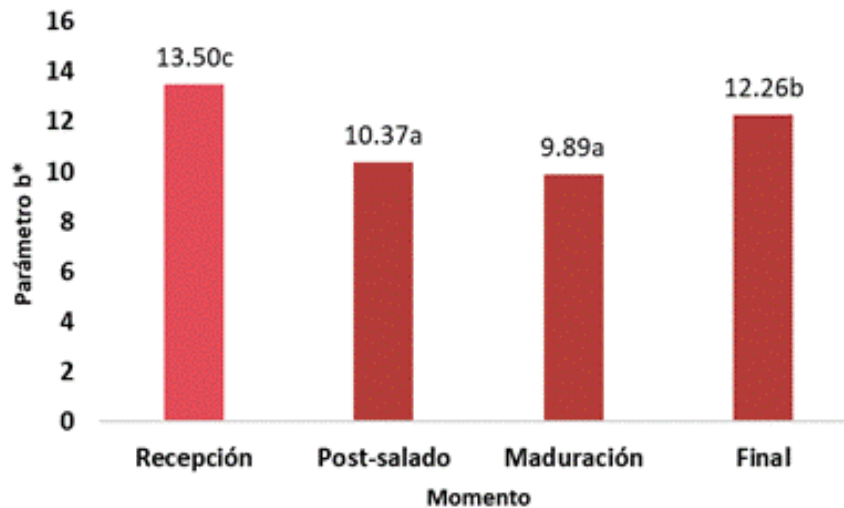


Figura 18. Parámetro b^* del color de la carne de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-curado. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

Las interacciones entre algunas variables muestran también diferencias estadísticamente significativas, así para el momento de la recepción y la procedencia ecológica y DOP Teruel se obtienen los valores más altos de b^* , pero no ocurre lo mismo con la procedencia convencional, donde para este momento muestra valores significativamente inferiores a las otras dos procedencias. En el momento de post-salado se obtienen valores bajos del parámetro b^* , pero significativamente para la carne de procedencia ecológica, mientras que en el momento de maduración y en el momento final, las tres procedencias muestran niveles similares entre sí (figura 19).

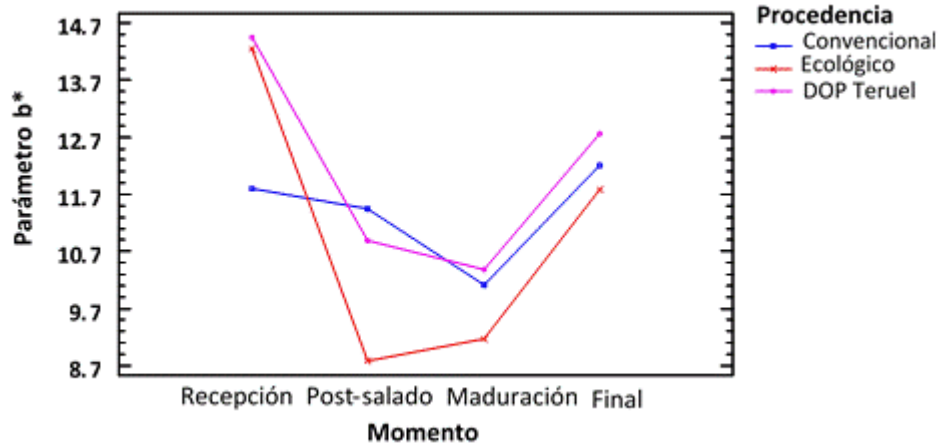


Figura 19. Parámetro b^* del color de la carne de jamón. Interacción entre la procedencia y el momento de secado-curado.

Los valores de b^* obtenidos en carne de cerdo producido de forma convencional (11.75) son similares a los presentados por Latorre *et al.* (2009) para machos *Duroc* sacrificados a los 107 kg, obteniendo un valor de 11.4. En el caso de la carne de procedencia ecológica el valor de 10.99 estaría más próximo al resultado de 10.2 obtenido para carne de cerdas *Duroc* primerizas, a pesar que la carne se corresponde a machos castrados. Para los jamones de la DOP el valor de b^* es más amarillo que para el resto (convencional y ecológico) posiblemente debido al mayor contenido en grasa de la muestra por la alimentación que recibe el animal y los requisitos específicos de espesor de tocino dorsal que deben cumplir los cerdos destinados a la elaboración de este producto. En lo que se refiera al valor de b^* según el momento en que se toma la muestra, en todas, menos en la recepción, el valor de b^* es mayor en el jamón de cerdo de producción convencional que en el de producción ecológica. Así, en la recepción de materia prima el valor es de 13.5, porque es donde más grasa inter e intramuscular se acumula. Los menores valores de amarillo (11.04 y 10.79) se corresponden con el post-salado y la maduración respectivamente, observándose una disminución de b^* por la degradación lipídica. El valor al final del proceso (13.1) podría deberse al enmantecado del producto para protegerlo de la oxidación y evitar la desecación excesiva del producto.

La caracterización del color se logra mediante las coordenadas de L^* , a^* y b^* , pero la principal finalidad en las medidas del color es la determinación objetiva de sus diferencias a través de los parámetros del croma (C^*) y del tono (H^*).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El parámetro de saturación, pureza o croma de un color (C^*) muestra la mayor o menor saturación hacia ese determinado color. De forma que un color con un valor alto de C^* es un color altamente saturado. Un valor de cero para C^* indica un estímulo acromático, sin ninguna orientación hacia rojo, verde, azul o amarillo. El comportamiento del parámetro de saturación en el estudio, es muy similar a lo observado para el parámetro b^* , de forma que los jamones procedentes de sistemas convencionales, en general dan carnes con mayor saturación, frente a los jamones de producción ecológica, con diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza, excepto en el momento de la recepción, donde la carne ecológica alcanza el mayor valor de saturación. Además, cuando los jamones son secados bajo el sistema natural, con ventana abierta, dan valores de saturación del color más altos, pero sin existir diferencias significativas entre ambos valores. En la diferenciación por momentos, el post-salado y maduración son los que muestran los valores más bajos saturación, sin diferencias en función del sistema productivo para la maduración, pero con valores significativamente superiores en el momento del post-salado para los jamones de producción convencional. Para el resto de momentos se encuentran diferencias significativas en la saturación del color, con comportamiento diferente en función del sistema productivo (figura 20).

La tonalidad, tono o matiz (H^*) es la propiedad del color asociada con la longitud de onda dominante, en una mezcla de ondas de luz es el ángulo que mide la tonalidad, indicando la orientación relativa del color dominante. La tonalidad de los jamones de producción convencional es ligeramente superior a la de los jamones de producción ecológica, pero las diferencias no son estadísticamente significativas, de la misma manera que la procedencia ecológica y de la DOP Teruel de la carne presenta valores de tonalidad inferiores a los de la carne convencional, pero sin diferencias significativas.

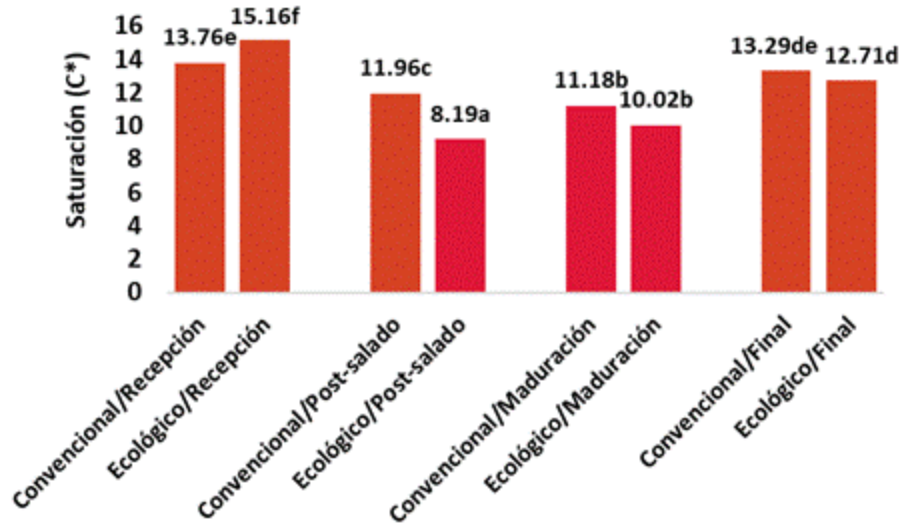


Figura 20. Saturación (C*) del color de la carne de jamón y nivel de significación en función del sistema productivo y del momento de secado-maduración. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

El secado en cámara da una ligera tonalidad superior en el jamón frente al que se seca en ventana abierta, aunque tampoco las diferencias son significativas. Para la tonalidad del jamón, se encuentran diferencias en función de los momentos del proceso de secado-curado (figura 21). Por otro lado, no existen interacciones significativas entre ninguna variable, para el parámetro de la tonalidad, por lo que, en todos los casos, la tonalidad más baja se encuentra en el momento de la maduración y el valor más alto de tonalidad se produce en la recepción de la carne.

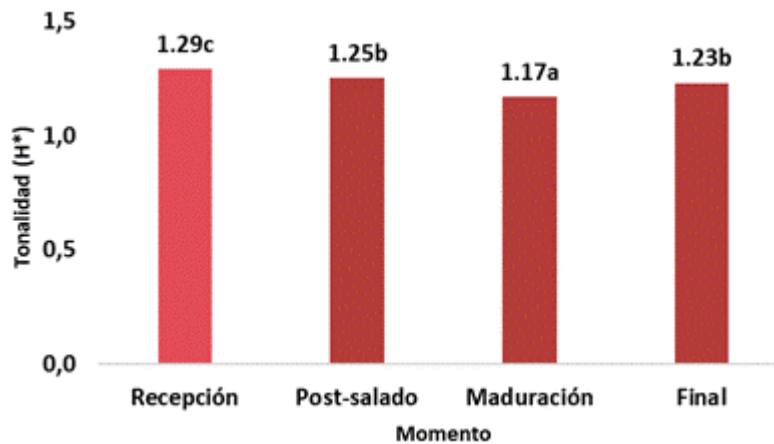


Figura 21. Tonalidad (H*) del color de la carne de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-curado. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los jamones procedentes de producción convencional presentan una mayor saturación del color (12.55) que los de producción ecológica (11.77), posiblemente debido a que el complejo ZnPP presenta menor intensidad que la nitrosomioglobina (NOMB) de los productos elaborados con agentes nitrificantes (Lorés *et al.*, 2012). Esto se ve a lo largo de todas las fases de elaboración, excepto en la recepción donde es la carne de procedencia ecológica la que presenta una C^* de 15.16 frente a los 13.76 de la carne de producción convencional, debido a que en este caso aún no ha empezado la formación del pigmento y la saturación depende de la cantidad de mioglobina (Ruíz *et al.*, 2004) que es mayor en los cerdos de producción ecológica por el ejercicio que realizan al poder tener acceso a los pastos. Aunque hay diferencias significativas a nivel de intensidad de color y puedan ser percibidas por el consumidor, el efecto sobre el color no influye en el sabor y el olor (Lorés *et al.*, 2012). El jamón DOP Teruel presenta el mayor valor de C^* (13.05), seguido del convencional (12.05) y por último el ecológico (11.77), posiblemente debido al efecto de la menor intensidad que presenta el pigmento ZnPP respecto a la NOMB.

De forma general la intensidad es más elevada en la recepción (14.23) seguida de la fase final (13.1), observándose una disminución en las fases de post-salado (11.04) y maduración (10.79) como consecuencia de la oxidación de la mioglobina y del comienzo de la producción del color de curado que en estas fases aún no se ha acabado de formar.

En lo que respecta a la diferencia en la saturación, los jamones ecológicos, seguidos de los de la DOP Teruel son los que presentan los tonos más opacos frente a los jamones convencionales que son más brillantes.

El tono de los jamones en recepción tiene un valor de 1.29, mayor que en la fase de maduración (1.17) posiblemente debido a que la estabilidad de la mioglobina se ve afectada por la oxidación de las proteínas, dando lugar a un deterioro en el color (Fuentes *et al.*, 2014) a lo largo de las diferentes fases.

Generalmente, las coordenadas del color son importantes para obtener numéricamente las diferencias entre las muestras. Describir la diferencia numérica de color, entre cada momento del proceso de secado-maduración, permite obtener la variación en cada momento, restando el valor de un momento el valor del momento precedente. Este dato puede mostrar la diferencia de color que hay en cada uno de los atributos, ΔL^* , ΔH^* y ΔC^* o mostrar la diferencia global de color ΔE^* .

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2}$$

Se han calculado los valores diferenciales entre los parámetros del color del momento final del secado-maduración, al momento inicial. La tabla 17 muestra los resultados del análisis multifactorial de la varianza para las diferencias entre el momento final del proceso de secado-curado del jamón y el momento de recepción de la carne, en los parámetros del color, ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔC^* , ΔH^* y ΔE , en función de la procedencia y del tipo de secado. Además, se muestra el error estándar para cada uno de los resultados. En negrita aparecen los valores que presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Se observa que la luminosidad se incrementa desde la carne como materia prima hasta transcurridos los 18.5 meses en el proceso de curado-secado en el jamón. El mayor incremento en la luminosidad se produce en los jamones de la DOP Teruel, y el menor incremento en los jamones de producción ecológica. El sistema de secado en cámara genera mayor luminosidad en el jamón final, aunque en todos los casos las diferencias encontradas no son significativas.

Tabla 17. Resultados promedio y error estándar de los parámetros diferenciales del color (ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔC^* , ΔH^* y ΔE) entre el final del proceso y la recepción, en función de la procedencia y del sistema de secado.

Factores	Variables	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔE
Procedencia	Convencional	8.15±1.38	1.17±0.80	0.41±0.75	0.72±0.89	-0.09±0.04	9.10±1.17
	Ecológico	6.58±1.38	-0.32±0.80	-2.46±0.75	-2.45±0.89	-0.04±0.04	7.81±1.17
	DOP Teruel	8.92±1.38	0.10±0.80	-1.69±0.75	-1.66±0.89	-0.06±0.04	8.70±1.17
Sistema de secado	Natural	7.17±1.12	-0.16±0.65	-1.51±0.61	-1.57±0.73	-0.04±0.04	8.40±0.96
	Cámara	7.27±1.12	0.79±0.65	-0.98±0.61	-0.68±0.73	-0.09±0.04	8.68±0.96

El valor de a^* se incrementa para los jamones de producción convencional y ligeramente en los de la DOP Teruel, pero descienden en los jamones ecológicos, posiblemente por la no adición de sales nítricas. El sistema de secado al natural disminuye los valores del parámetro a^* , pero al igual que en la luminosidad, las diferencias encontradas no son significativas al 95% de confianza. Para el parámetro b^* , en los jamones de procedencia convencional se produce un ligero incremento desde los valores de la carne a los del jamón final, mientras que en el jamón ecológico y en el jamón de la DOP Teruel, se producen detrimentos del valor de b^* , siendo las diferencias encontradas estadísticamente significativas. El sistema de secado disminuye el valor de b , de forma más pronunciada con el sistema de

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

secado natural, pero sin mostrar diferencias significativas. Los valores diferenciales del croma (C^*) siguen una tendencia similar a la del parámetro b^* , mientras que los valores diferenciales de la tonalidad (H^*) disminuyen ligeramente desde el momento inicial al final, aunque las diferencias encontradas no son significativas (figura 22).

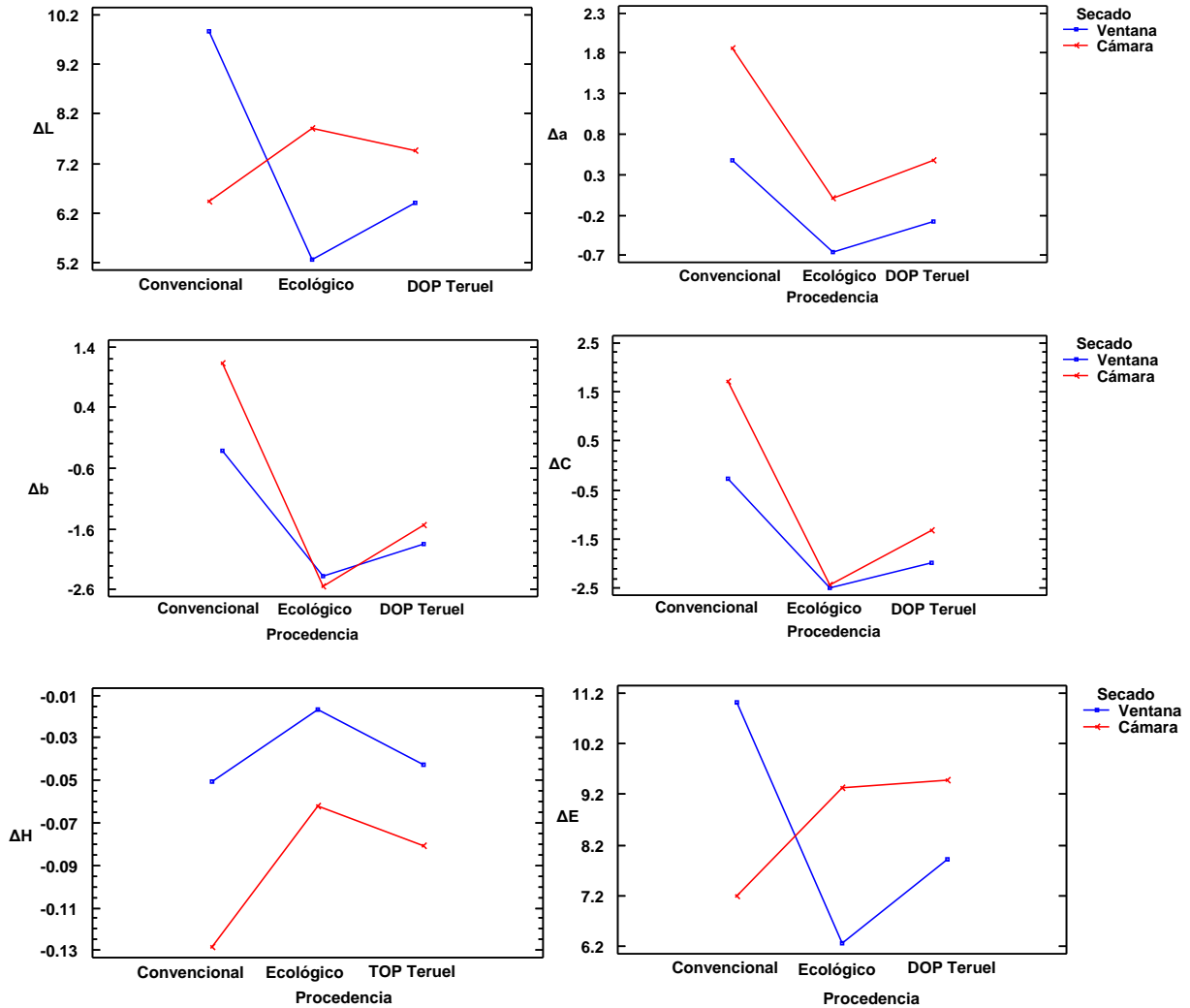


Figura 22. Interacciones entre procedencia y sistema de secado para los valores diferenciales del color (ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔC^* , ΔH^* y ΔE).

Por último, el valor de ΔE que permite cuantificar numéricamente la variación del color sufrido, muestra que en todos los casos se ha incrementado el valor del color, siendo más importante para los jamones de procedencia convencional y para el sistema de secado en cámara, aunque las diferencias

encontradas no son significativas. Las interacciones entre las dos variables (procedencia y sistema de secado) han mostrado no ser significativas, de forma que en cada parámetro se lleva la misma pauta, donde el jamón de procedencia ecológica y secado en ventana es el que presenta los valores diferenciales más bajos, excepto en el valor diferencial de la tonalidad (ΔH), donde los criterios se invierten

4.1.2. Evaluación de la humedad, grasa y proteína

La deshidratación progresiva del músculo junto a la absorción y difusión de la sal en la carne son dos de los principales procesos para estabilizar el jamón, disminuyendo la actividad de agua y facilitando el desarrollo de las características sensoriales, como la textura. La pérdida de agua en los perniles debe ser equilibrada entre el interior y el exterior, de manera que la tasa de difusión del agua de la zona interna compense la alta tasa de deshidratación en la superficie. Según indican Arnau *et al.* (2003), la temperatura y la humedad relativa del aire, además de la composición de la materia prima, afectan al contenido de agua y, en consecuencia, al equilibrio del jamón y al óptimo desarrollo de la textura. La pérdida de agua en el jamón curado ha de realizarse de forma paulatina y progresiva a lo largo de todo el proceso.

Los valores estándar de humedad en la carne fresca de jamón de cerdo de capa blanca, incluyendo parte grasa y magra es de 71.89%, mientras que en el producto curado los valores están entre el 39% y el 48.5% (BEDCA, 2020; Toldrá, 2002). La reducción en el contenido de humedad ofrece estabilidad del producto a largo plazo sin la adición de otras sustancias conservantes, de ahí que los jamones que se elaboran sin nitrificantes sean inocuos en términos de seguridad alimentaria, ya que, con unas buenas medidas higiénicas, el proceso de secado y el valor de a_w por debajo de 0.90 evitan la proliferación de microorganismos patógenos.

La humedad influye en aspectos como la jugosidad o la textura y es un parámetro que afecta a la estabilidad a nivel microbiológico y también a la elección del proceso tecnológico. En el jamón curado se consideran defectuosas texturas blandas, asociadas entre otros factores a procesos de curado cortos y a niveles de humedad más elevados, junto con un bajo contenido en sal que disminuye la salida de agua. Niveles más altos de humedad en el jamón se relacionan con una mayor actividad de catepsina B, que a su vez se relaciona con animales más jóvenes y con productos con una textura más blanda

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

(Toldrá y Flores, 1998). Texturas excesivamente duras también se consideran defectos, dando lugar a cortezas o superficies extremadamente duras del jamón, consecuencia de diversos factores como una velocidad de secado demasiado rápida cuando aún el contenido de humedad en el interior del producto es elevado, un exceso de sal que da lugar a una salida de agua demasiado acusada (Serra *et al.*, 2005), temperaturas bajas o proteólisis poco intensa (poca sal o pH elevado) y carnes con un bajo contenido en grasa lo que favorecen que el proceso se acelere (Arnau *et al.*, 2013).

La grasa es uno de los factores determinantes, junto con el peso a la hora de seleccionar la materia prima y determinar el tiempo del proceso de curado. La deposición de grasa intermuscular o existente entre la carne del músculo es aproximadamente del 20 al 35% del total de la grasa presente en las diferentes ubicaciones anatómicas del cerdo y la deposición intramuscular o grasa dentro de los músculos puede ser del 15 al 20% (Kouba y Sellier, 2011). La grasa intramuscular varía en función de la genética del animal, razas como la Ibérica o la *Duroc* tienen niveles de grasa infiltrada superiores a otras razas más magras como la *Landrace* o la *Large White* y también en función del sistema de cría, animales que realizan más movimiento presentan un marmoleado de la carne mayor que otros con mayor grado de estabulación (Coutron-Gambotti y Gandemer, 1999; Muriel *et al.*, 2003). La grasa es un parámetro que influye en la calidad sensorial del producto final, pero que tiene unas implicaciones nutricionales y sobre la salud importantes. Además, la cantidad de grasa también influye en otros aspectos de la calidad del jamón, como dinámica de la deshidratación, absorción de sal y estabilidad oxidativa y en conclusión sobre el secado-maduración del jamón, debido a sus efectos sobre la actividad de las enzimas proteolíticas (Ruiz Carrascal *et al.*, 2000).

A lo largo del proceso de curado del jamón, la grasa sufre dos reacciones principales de alteración; la autooxidación que ocasiona olores rancios en el jamón y la oxidación lipídica, en la que intervienen un grupo hemo y un hidroperóxido dando lugar al desarrollo de aromas en el jamón (Lundberg y Watts, 1962). La lipólisis más intensa se produce entre los 2 y los 10 meses del proceso de curado, como consecuencia de la hidrólisis por lipasas endógenas, que actúan sobre los glicéridos (Toldrá y Flores, 1998; Pérez-Juan *et al.*, 2006). Estas reacciones de oxidación son inhibidas en parte por la adición de nitrito y/o por una alimentación de los animales con niveles elevados de vitamina E (Morrissey *et al.*, 1998).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las proteínas constituyen el otro gran grupo dentro de los macronutrientes. Durante el proceso de secado-maduración del jamón, las proteínas musculares sufren una intensa degradación enzimática (Lorenzo *et al.*, 2013) dando lugar a polipéptidos que a su vez se degradarán a pequeños péptidos por la acción de peptidasas y éstos a aminoácidos y pequeños péptidos (Toldrá y Flores, 1998). Estos últimos son relevantes ya que poseen cualidades para ser empleadas como marcadores de calidad del producto, del tiempo de curado o para aportar un efecto como agentes antihipertensivos o antioxidantes (Gallego, 2015). La desnaturalización de las proteínas en el proceso de elaboración del jamón curado seco depende de muchos factores como las condiciones de producción y la composición de la materia prima (peso inicial, nivel de grasa y pH), los factores genéticos, el tipo de músculo y el proceso de maduración y el contenido de sal (Théron *et al.*, 2011). Las proteínas miofibrilares (mayoritarias en los pernils) y sarcoplásmicas se degradan intensamente durante el proceso de maduración contribuyendo a la textura del jamón curado en seco y a su calidad (Bermúdez *et al.*, 2014). En consecuencia, los cambios proteolíticos en esta fracción proteica son importantes para el desarrollo de la textura y las características sensoriales, sin embargo, una proteólisis excesiva puede generar el defecto de pastosidad caracterizado por una excesiva suavidad, textura blanda y sabores desagradables (Škrlep *et al.*, 2011).

Las enzimas responsables de la degradación de las proteínas son las endopeptidasas. La sal empleada en el proceso de curado es un factor que influye en la actividad de estas enzimas inhibiéndolas, así, si los niveles son bajos, la cantidad de nitrógeno no proteico aumentará al igual que el nitrógeno peptídico y el aminoacídico. Sobre este último también influiría en gran medida la temperatura (Martín *et al.*, 1998a; Pérez-Palacios *et al.*, 2010). Por el contrario, niveles elevados de sal y procesos de curado más largos afectarán de manera importante a los cambios producidos por la proteólisis (Toldrá y Flores, 1998).

La tabla 18 muestra los resultados del análisis de la varianza multifactorial para el contenido en humedad (%), grasa (%) y proteína (%), en función del momento del proceso de secado, de la procedencia y sistema productivo y del tipo de secado. Además, se muestra el error estándar para cada uno de los resultados. En negrita aparecen los valores que presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 18. Resultados promedio y error estándar del contenido en humedad (%), grasa (%) y proteína (%) en función del sistema productivo y la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado.

Factores	Variables	Humedad	Grasa	Proteína
Producción	Convencional	39.15±0.39	27.19±0.46	18.16±0.20
	Ecológico	38.99±0.55	24.95±0.65	17.70±0.28
Procedencia	Convencional	41.07±0.53	23.10±0.57	19.15±0.26
	Ecológico	38.99±0.53	24.95±0.57	17.70±0.26
	DOP Teruel	37.22±0.53	31.27±0.57	17.11±0.26
Momento de curado	Recepción	48.35±0.61	21.86±0.66	12.97±0.30
	Post-salado	38.89±0.61	24.62±0.66	19.68±0.30
	Maduración Final	32.21±0.61	26.65±0.66	20.77±0.30
Sistema de secado	Natural	39.21±0.43	26.34±0.47	18.24±0.21
	Cámara	38.98±0.43	26.54±0.47	17.74±0.21

Se observa que el sistema productivo convencional influye en un mayor contenido en agua, grasa y proteína, frente al sistema ecológico, siendo las diferencias estadísticamente significativas, solamente para el contenido en grasa del jamón.

El contenido en humedad presenta diferencias significativas en función de la procedencia de la carne, siendo la procedencia convencional la que mayor contenido en humedad presenta (41.07%), seguido de la procedencia ecológica, mientras que los pernils de la procedencia de la DOP de Teruel difieren significativamente por la menor cantidad de agua (37.22%), frente al resto de las procedencias. Los valores de humedad promedios son inferiores a los que reportan otros autores (tabla 19) sobre el contenido de agua final, esto puede ser debido a que el análisis del porcentaje de agua de estos estudios se lleva a cabo en el músculo *biceps femoris* y/o *semimembranosus* que tiene un mayor contenido en parte magra y con ello, una mayor capacidad de retención de agua, por la presencia de las proteínas de actina y miosina. En el presente estudio, todas las muestras procedían de la parte de la punta, compuesta por los músculos del glúteo medio, superficial y profundo, tensor de la fascia lata, glúteo bíceps y obturador externo, junto con el tejido graso subcutáneo y la grasa intramuscular, lo que puede explicar esa mayor humedad. Por otro lado, los valores de humedad del jamón final se corresponden con los citados en el BEDCA (2020). La reducción en el contenido en agua de las tres procedencias está entre el 24 y el 33%, valores que concuerdan con lo descrito por diversos autores (Toldrá y Aristoy, 2010; Bermúdez *et al.*, 2015).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 19. Valores de humedad (%) en jamón curado según diversos autores en función de la genética, el tipo de músculo y el tiempo de secado.

Autores	Tipo de cerdo	Zona de muestreo	Valor humedad g/100 g			
			Carne fresca	Post salado	Maduración	Envejecimiento
Arnau <i>et al.</i> (1990)	Cerdo blanco		70.90-72.25	68.18-71.40	62.83-69.75	57.63-64.01 (7 meses)
	Cerdo ibérico		68.19-70.89	63.76-66.18	52.78-56.64	47.24-52.71 (24 meses)
Larrea (2003)	Cerdo DOP Teruel	<i>Biceps femoris</i>	74.61	72.19	71.73	66.51 (12 meses)
		<i>Semimembranosus</i>	74.77	69.28	64.45	58.61
Salazar (2013)	Chato Murciano	Muestra formada por <i>Biceps femoris</i> , <i>Semimembranosus</i> y <i>Semitendinosus</i>	72.23	47.22 (a los 14 meses)	44-75 (a los 18 meses)	41.06 (a los 22 meses) y 41.47 (a los 24 meses)
Parolari <i>et al.</i> (2016)	Jamón de Parma	<i>Biceps femoris</i>				62.4-65.4 (12 meses)
Fuentes <i>et al.</i> (2014)	Ibérico	<i>Biceps femoris</i>				47.89 (24 meses)
	Duroc ♀ x ibérico	<i>Biceps femoris</i>				49.22 (24 meses)
	Ibérico ♀ x Duroc	<i>Biceps femoris</i>				50.78 (24 meses)
Echenique <i>et al.</i> (2009)	Cruces	<i>Biceps femoris</i>				51.30-51.66 (9 meses)
Reina <i>et al.</i> (2012)	Cerdos para DOP Jamón de Teruel	Sección incluyendo varios músculos				50.96 (14.5 meses)
Bermúdez <i>et al.</i> (2015)	Raza Celta	<i>Biceps femoris</i>	73.68	68.05	65.36	52.35 (20 meses)
		<i>Semimembranosus</i>	73.80	61.12	56.30	35.82 (20 meses)
Martín <i>et al.</i> (1998b)	Cerdo ibérico	<i>Biceps femoris</i> . Secado natural				48.67 (20 meses)
		<i>Biceps femoris</i> . Secado en cámara				47.28 (22 meses)

El momento del proceso de secado-curado del jamón influye significativamente en el contenido en agua de los perniles (figura 23). En la recepción de la carne fresca es lógicamente donde se encuentran los mayores contenidos de agua (48.35%) y conforme avanza el proceso de obtención del jamón el contenido disminuye hasta llegar a los 32.21% de la fase de maduración, aproximadamente a los 8 meses, suponiendo en este punto una pérdida aproximada del 33%. En el momento del post-salado, en promedio la carne pierde aproximadamente un 19%. Desde el post-salado al momento de la maduración, los jamones siguen perdiendo humedad, siendo las pérdidas en promedio del 17%. Del momento de maduración al momento final, se observa un incremento de la humedad (12.8% en promedio), posiblemente debido al reequilibrio entre la parte exterior de los jamones y el interior, pero

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

también debido a la expresión porcentual del contenido en humedad frente al peso total que presenta el jamón curado en este punto final. Transcurridos los 18.5 meses del proceso global de secado y curado de los jamones, en promedio se ha producido una pérdida de humedad del 23.61%. El incremento de humedad del 14% entre la fase de maduración y la final puede ser debido a que el resto de macro y micronutrientes no sufren un descenso tan acusado en esta fase, lo cual, sumado a la menor pérdida de agua por parte de la muestra debido al mayor contenido en grasa, que evita su salida, ha podido dar lugar a este aparente aumento. Otra posible explicación sería el hecho de que los jamones se cubren de grasa para ralentizar la deshidratación y favorecer las reacciones enzimáticas dando productos con un mejor flavor (Toldrá y Aristoy, 2010). Esto, en algunas ocasiones, debido a que la superficie en la maduración ya está seca, puede derivar en una ligera migración de agua del interior a zonas más superficiales (Gou *et al.*, 2002).

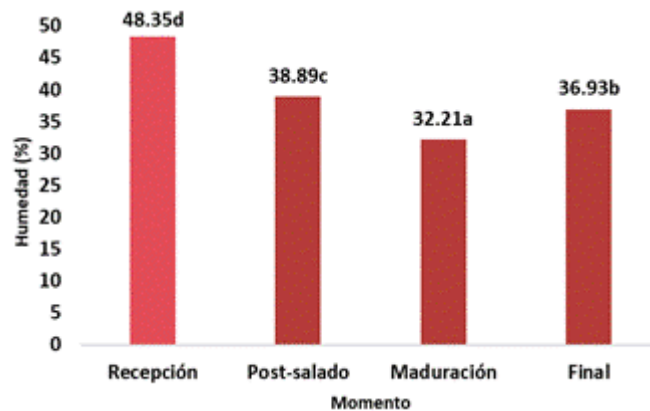


Figura 23. Humedad (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-curado. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

La disminución del contenido en humedad en función del momento de secado-curado del jamón no se produce de la misma manera para el tipo de producción (figura 24), existiendo diferencias estadísticas al 95% de confianza, para la interacción entre las dos variables. De forma que la tendencia en el contenido de humedad encontrada en los perniles en el momento de la recepción, cambia en el momento del post-salado, siendo el jamón ecológico el que muestra la mayor pérdida de agua (22.4%). En la misma línea el incremento que se experimenta desde la maduración hasta el momento final es más significativo para el jamón de procedencia y producción ecológica (20.3%). Es decir que, desde el inicio hasta concluir los 18.5 meses de curación, la carne de procedencia convencional pierde un 33% de

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

humedad, el jamón de producción ecológica pierde un 10.5% de humedad y el jamón procedente de la DOP Teruel pierde un 25.4% a lo largo de todo el proceso.

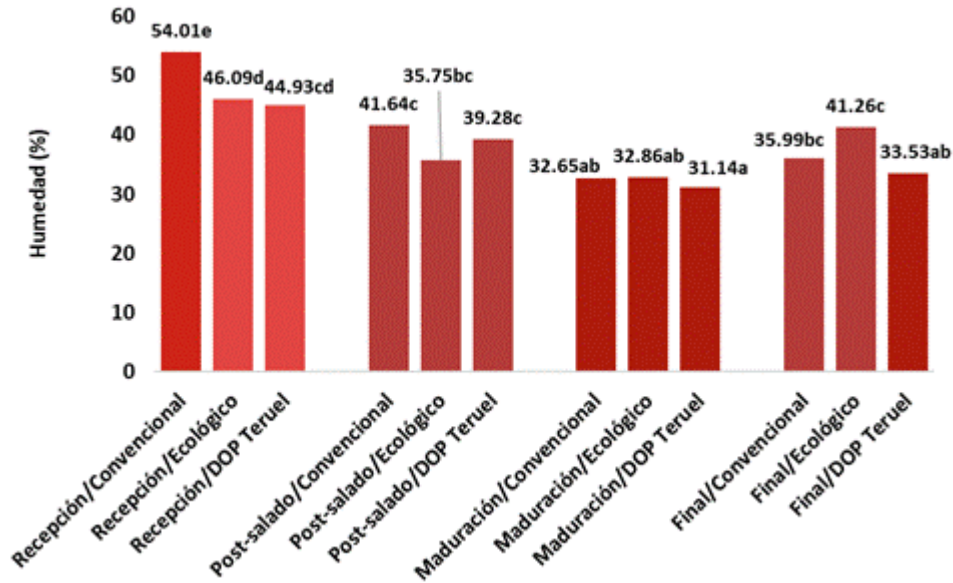


Figura 24. Humedad (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

En la recepción de materia prima la carne convencional es la que mayor humedad presenta con un 54.01%, seguida de la ecológica con un 46.09% y la DOP Teruel con un 44.93%, esto podría deberse a que los cerdos de producción ecológica tienen un mayor contenido en grasa intramuscular gracias a su producción en extensivo y los cerdos destinados a la DOP también, puesto que una de las razas que debe emplearse en la reproducción es Duroc, como línea padre, para aportar, en el cruce, el contenido de grasa intramuscular propio de la misma (MAPA, 2020a). Los valores son en todos los casos inferiores a lo descrito por Larrea (2003) en el caso de muestras de carne destinadas a la elaboración de jamón DOP Teruel, lo que puede ser debido a que la muestra no procede de la misma zona, en su caso para músculo *bíceps femoris* obtiene valores de 74.61% y para el *semimembranosus* del 74.77%.

En el post-salado disminuye el contenido de agua del producto lo que favorece la penetración de la sal hacia el interior del mismo y evita el desarrollo de *C. botulinum* (Domínguez *et al.*, 1989) gracias también a la baja temperatura que se mantiene en esta etapa (entre 3-4 °C) obteniéndose de nuevo el valor más elevado para el producto convencional (41.64%). El orden para la DOP Teruel y el ecológico se

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

invierten (39.28% y 35.75%, respectivamente), siendo más acusado el descenso en el caso de la producción ecológica que alcanza el 22.43% y la convencional con un 22.90%, cuando lo normal en estas primeras fases sería una pérdida del 11-15% (Zumalacárregui, 1997), valores que sí se obtienen en la procedencia DOP Teruel con un 12.57% de pérdida. Esto podría deberse, en el caso de jamón ecológico, a una menor presencia de grasa subcutánea en la materia prima (menor engrasamiento por el ejercicio), lo que daría lugar a un secado más rápido del jamón (Reina *et al.*, 2012). Esto es interesante desde el punto de vista de la seguridad alimentaria, ya que, al no adicionar nitratos ni nitritos, en la producción ecológica, es necesario alcanzar valores de humedad más bajos antes, para asegurar que disminuye la actividad de agua a valores por debajo de 0.92, logrando así controlar el desarrollo de microorganismos patógenos. La reducción al final del proceso debería ser de, aproximadamente, un 40% para asegurarlo (Zukál e Incze, 2010).

En la etapa de maduración el jamón permanece 4 meses, suponiendo un total de 8 meses desde la entrada de la materia prima. Se observa que el contenido en humedad sigue disminuyendo siendo el producto ecológico el que tiene un mayor contenido en agua (32.86%), seguido del convencional (32.65%) y de la DOP (31.14%), este descenso se logra con el aumento de temperatura en esta etapa que favorece la pérdida de agua (Bermúdez *et al.*, 2015). Todo ello independientemente del tipo de secado (en cámara o ventana) lo que relaciona los valores obtenidos con la materia prima. En este caso el jamón ecológico es el que menor porcentaje de pérdida de agua presenta con respecto a la etapa anterior obteniendo un valor del 8% frente al 20% de los otros dos tipos de procedencias, esto podría deberse a que en esta etapa ya se ha producido una importante pérdida de agua, lo que hace que el contenido en grasa y proteína pase a tomar más importancia, y al tratarse de un producto con un mayor contenido en grasa intramuscular, la difusión de agua se produce de forma más lenta (Arnau *et al.*, 1990) a pesar del aumento de temperatura.

Por último, en la etapa final, a los 18.5 meses la muestra que presenta el mayor contenido en humedad es la ecológica, seguida de la convencional y la DOP Teruel. Estas dos últimas siguen el mismo orden en lo que respecta al mayor porcentaje de agua, presentando la muestra convencional un valor de 35.99% y la DOP Teruel un 33.53%, valores similares a los obtenidos por (Bermúdez *et al.*, 2015) para jamón curado Celta en el músculo *semimembranosus* al final del proceso de curación (35.82%), donde los tiempos de curado son similares a los realizados en el presente estudio, en torno a 18-20 meses. Sin

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

embargo, difieren de los resultados encontrados por otros autores donde el valor medio final está en torno al 50-60% (Larrea, 2003; Arnau *et al.*, 1990; Parolari *et al.*, 2016; Fuentes *et al.*, 2014; Echenique *et al.*, 2009; Reina *et al.*, 2012).

Los niveles de materia seca están inversamente relacionados con los del contenido en humedad del jamón. La figura 25 muestra los valores promedio, incluyendo los cuatro momentos de evaluación, para el contenido en materia seca (%) del jamón, en función de la procedencia, observando que el rendimiento en la materia seca es superior para las procedencias de DOP Teruel y ecológica. Lo que deriva en un 6% más de rendimiento en la materia seca para la procedencia DOP Teruel y 3.4% para la procedencia ecológica.

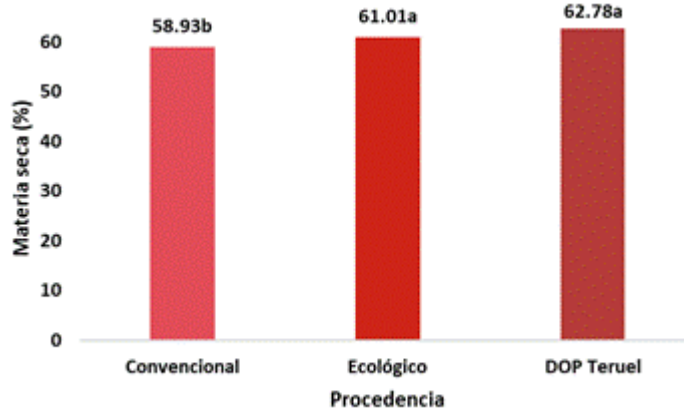


Figura 25. Materia seca (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

De forma similar a lo observado en el estudio del momento de secado-curación, independientemente de otros factores, se observa que al final del proceso de maduración se produce un aumento del porcentaje de humedad con respecto a la etapa anterior, no por un aumento como tal, sino por una pérdida puntual de grasa y proteína, debida a las reacciones químicas y bioquímicas que tienen lugar en este período, como consecuencia de las elevadas temperaturas y las óptimas condiciones de desarrollo de las mismas para la generación de compuestos volátiles con repercusión en el flavor, que hace que el valor de humedad aparezca como aumentado (Salazar, 2013). Aunque a lo largo del proceso y de forma normal la pérdida de agua hace que aumente el contenido de grasa, proteínas y minerales (Zumalacárregui, 1997).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El secado en cámara y bajo condiciones controladas genera los jamones con menor contenido en humedad, aunque las diferencias respecto a los valores de humedad de los jamones secados de forma natural con ventana abierta, no son estadísticamente significativas. Así, la disminución de humedad, en función del sistema de secado, sigue la misma tendencia para los jamones de producción ecológica y para los de la DOP Teruel, es decir, que se alcanzan menores contenidos en humedad con el secado con cámara, mientras que para los jamones de producción convencional, la menor humedad se alcanza en los jamones secados en ventana abierta (figura 26). También existe una interacción significativa entre el sistema de secado y el momento del proceso (figura 26), ya que la tendencia es que la humedad es inferior cuando los jamones se secan bajo condiciones de ventana abierta, para los momentos iniciales, se igualan en el momento de la maduración, y en el momento final, los jamones secados en cámara son los que presentan los contenidos en humedad más bajos.

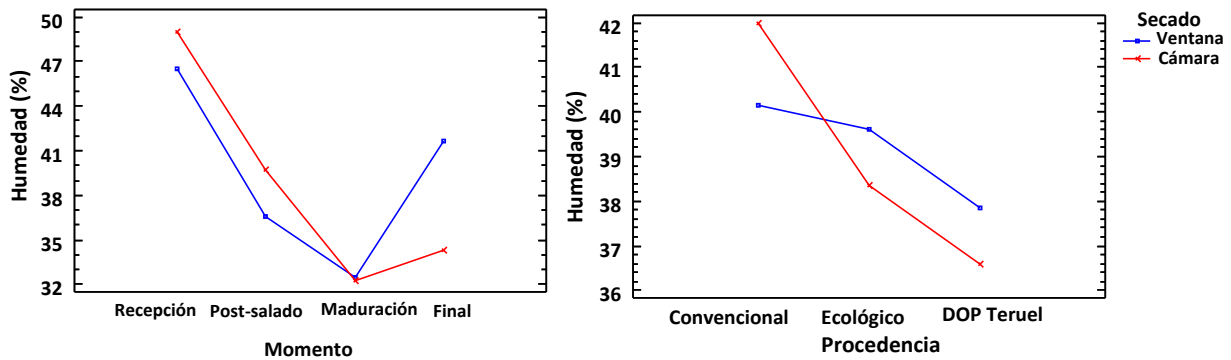


Figura 26. Interacción entre el momento del proceso y el sistema de secado (izquierda) y entre la procedencia y el sistema de secado (derecha) para el contenido en humedad del jamón.

Los valores promedio de la grasa del jamón (en torno a 27%) son superiores a los descritos por autores como Echenique *et al.* (2009) (16.32%) o a los que se indican en el BEDCA (2020) (22.6%). Este mayor contenido puede ser debido a la localización de la muestra, que en este trabajo se realizó en la punta del jamón, zona más grasa, sobre todo en grasa subcutánea. Independientemente de ello, existe una relación con los niveles de agua y proteínas que son menores en consonancia.

La cantidad de grasa presente en los jamones es significativamente superior en los jamones de producción convencional, debido a que la procedencia DOP Teruel muestra niveles de grasa extraordinariamente altos (31.27%), siendo significativamente diferentes a los valores de grasa

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

presentes en los jamones de las otras dos procedencias. También los niveles de grasa presentes en los jamones de producción ecológica difieren de los presentes en los jamones de procedencia convencional (figura 27). El valor de grasa de los jamones de la DOP Teruel se podría explicar por los requerimientos que ha de tener la materia prima en relación al tocino dorsal que ha de estar entre 16 y 45 mm (Orden DRS, 2017) y en el caso del jamón ecológico ese mayor contenido en grasa corresponde principalmente a grasa intramuscular presente como resultado de la práctica de ejercicio, lo que mejora este parámetro de gran relevancia en el sabor y textura del producto, muy valorado en productos como el jamón ibérico (Quintanilla y Redondo, 2013). En el jamón DOP Teruel la grasa tiene una influencia elevada, gracias al empleo de la raza Duroc en los cruces. Esta grasa intramuscular aumenta con la edad al sacrificio (Lorenzo *et al.*, 2014) y está compuesta sobre todo por lípidos neutros que definen la composición de la grasa en función de la alimentación recibida (Ventanas *et al.*, 1998). En este caso los animales se sacrifican en torno a los 8-10 meses, lo que da un grado de infiltración grasa adecuada, pero que podría ser más elevado si se aumenta la edad de sacrificio.

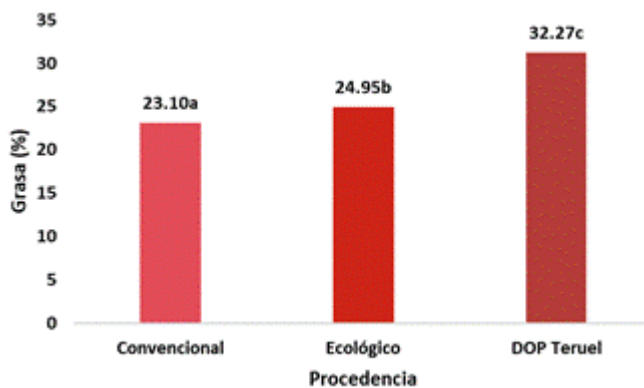


Figura 27. Grasa (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

El momento del proceso de secado-curado también muestra diferencias estadísticamente significativas (al 95% de confianza) para el contenido en grasa. Los valores en grasa se van incrementando a lo largo del proceso de secado-curado del jamón (figura 28), aunque este incremento se debe principalmente a la pérdida de peso y a la expresión del contenido en grasa en función del peso total, en cada momento.

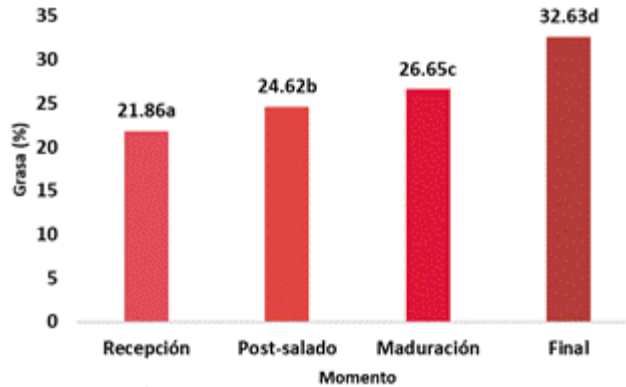


Figura 28. Grasa (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-curado. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

A lo largo del proceso de curación el nivel de grasa aumenta desde el 21.86% de la recepción al 33.63% del final. El aumento que se observa se debe en realidad a una mayor concentración debida a la pérdida de agua. Pero si se calcula el contenido en base seca, los niveles de grasa realmente disminuyen debido a la intensa lipólisis que se produce (Larrea, 2003).

El sistema de secado no influye en el contenido en grasa, obteniéndose valores muy similares cuando los jamones se secan ante cualquiera de los dos sistemas de secado.

La única interacción significativa existente entre las diferentes variables se produce entre la procedencia y el momento de secado-curado (figura 29). De manera que la tendencia globalizada es que el contenido en grasa aumenta con el proceso de secado-maduración, siendo menor en el jamón de procedencia convencional, seguido del jamón de procedencia ecológica, obteniendo los mayores niveles en grasa jamones de la DOP Teruel en el momento final del proceso. Esta tendencia se cruza de forma significativa en el momento del post-salado, donde los mayores contenidos en grasa son para los jamones de la DOP Teruel, seguidos de los jamones de procedencia convencional, siendo los jamones de producción ecológica los de menor contenido en grasa en el momento del post-salado.

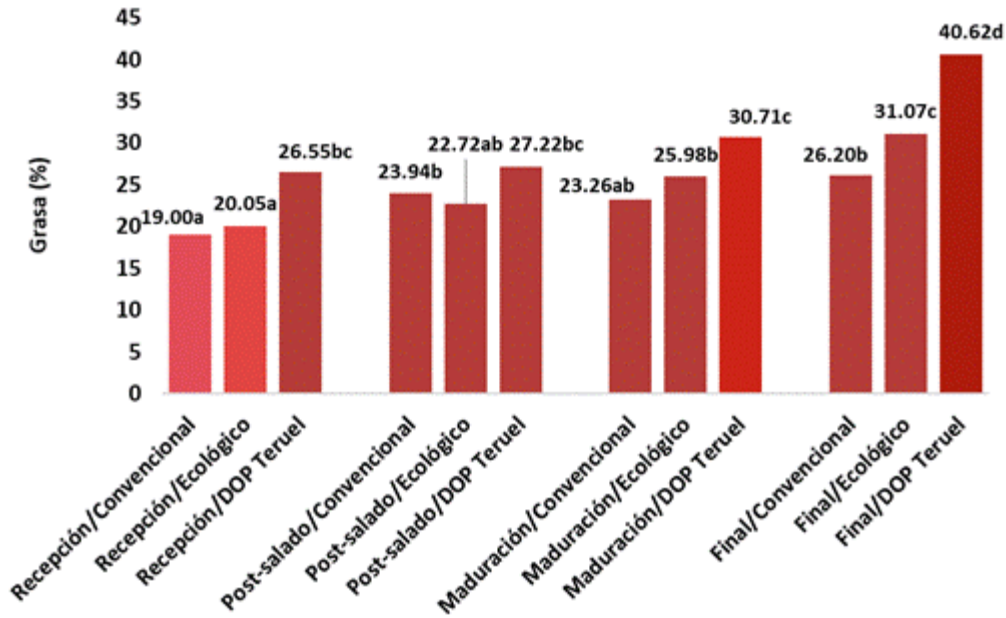


Figura 29. Grasa (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

El contenido en grasa aumenta conforme lo hace el proceso de curado y en todas las fases, excepto en el post-salado. El orden de mayor a menor contenido en grasa en función de la procedencia es para el jamón de la DOP Teruel, ecológico y convencional. En la fase de post-salado se invierte el orden de ecológico y convencional, aunque estos resultados no son significativos, esa variación de los datos podría deberse a la mayor lipólisis de las materias primas ecológicas al no disponer del efecto antioxidante de los nitritos, desarrollando productos de oxidación que serán precursores de compuestos aromáticos, que continuarán en la fase de secado y darán lugar a un incremento de los niveles de ácidos grasos libres (Ventanas *et al.*, 1998).

El resto de interacciones entre variables para el contenido en grasa en el jamón no son significativas, por lo que las tendencias de contenidos son muy similares para las variables implicadas. La figura 30 muestra las gráficas de interacción (no significativas) entre el sistema productivo y el sistema de secado, incluyendo en el sistema productivo convencional, procedencia convencional correspondiente al manejo de animales, la procedencia de DOP Teruel y las técnicas de secadero incluyendo la autorización de sales nítricas, frente al sistema productivo ecológico que incluye el modelo de producción ganadera

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

y las técnicas autorizadas en el secadero. Se muestra también la gráfica de interacciones no significativa entre el momento de secado-curado y el sistema de secado.

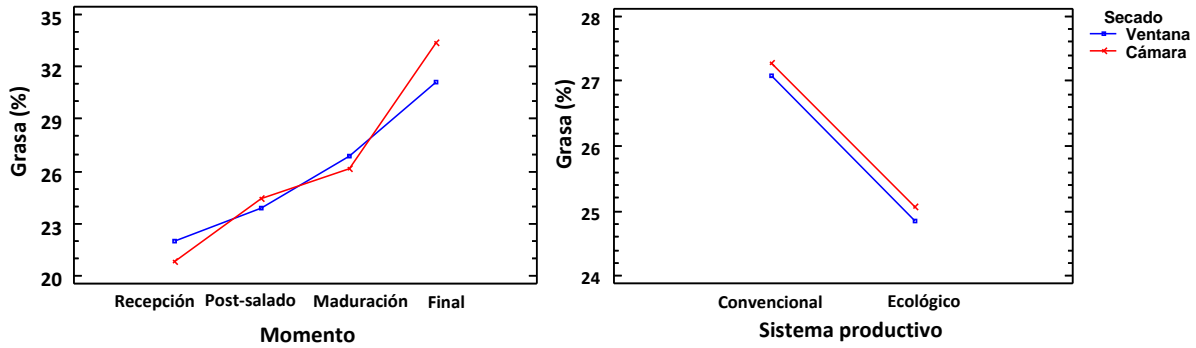


Figura 30. Interacción entre el momento del proceso y el sistema de secado (izquierda) y entre el sistema productivo y el sistema de secado (derecha) para el contenido en grasa del jamón.

El contenido en proteína del jamón muestra diferencias estadísticamente significativas en función de la procedencia de la carne. Como se observa en la figura 31, la producción convencional proporciona, en promedio, los jamones con mayor concentración en proteína (19.5%), posiblemente relacionado con el mayor aporte de proteína en la dieta de estos animales. Por el contrario, los jamones de producción ecológica y los de DOP Teruel obtienen los porcentajes más bajos (17.70% y 17.11%, respectivamente). Estos resultados podrían deberse a la presencia de un mayor contenido de mioglobina de las carnes ecológicas y de la DOP Teruel. La mioglobina es una proteína que actúa como precursor de la oxidación de las proteínas (Estévez, 2011), que puede contribuir a una degradación más intensa de estas. Para las tres procedencias, el largo período de curación de los jamones, junto con las altas temperaturas del final del proceso favorecen las reacciones químicas y enzimáticas que dan lugar a la degradación proteica, en favor de la formación de compuestos que darán lugar a péptidos y aromas de interés (Ventanas *et al.*, 1998). Una de las enzimas, las aminopeptidasas, tienen su óptimo en 37 °C, por lo que los 25-30 °C que se dan en la fase final es una temperatura idónea para su actuación (Toldrá, 2006).

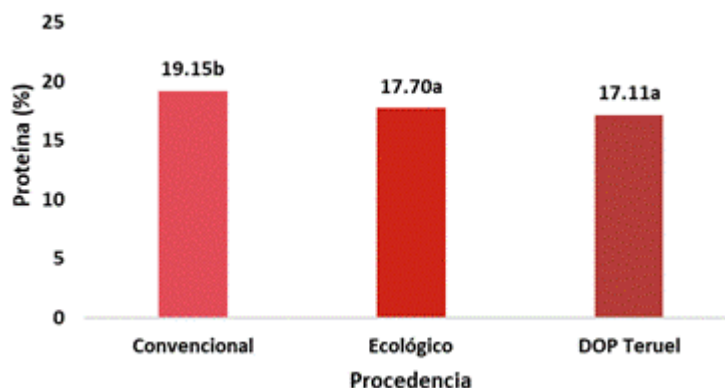


Figura 31. Proteína (%) en la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

Los niveles de proteína en el jamón difieren en función del momento del proceso de secado-curado, siendo las menores concentraciones las del momento inicial (12.97%), valor algo inferior a lo descrito por Latorre *et al.* (2009) quien reportó un valor de 22.6% de proteína en carne de machos destinados a la producción de Jamón de Teruel o los presentados por Toldrá (2017) con un 19% para músculo de cerdo, pero que entran en el rango de 17-23% para el músculo *semimembranosus* según lo publicado por Petrova *et al.* (2015a,b). Los valores de proteína se incrementan en el muestreo de post-salado (19.68%) y en el de maduración (20.77%), valor que coincide con los 20.89% encontrados por Larrea (2003) en el bíceps *femoris* de jamón para la DOP Teruel y descienden ligeramente en el momento final (18.53%). Estos valores pueden observarse en la figura 32.

En la etapa final no se produce el esperado aumento (Arnau *et al.*, 1990; Ruiz-Ramírez *et al.*, 2006; Salazar, 2013), sino una disminución del contenido total de proteína hasta el 18.53%, que coincide con el aumento del contenido en humedad que se había observado en la misma etapa, así como el aumento del contenido en grasa total. Estos cambios en la composición hacen que los valores de proteína vean reducido su contenido, no como pérdida de nitrógeno, sino como equilibrio porcentual con los componentes mencionados. Larrea (2003) obtuvo un valor de proteína en el producto final de 21.16%, otros autores reportan valores entre el 28 y el 33% (Arnau *et al.*, 1990; Martín *et al.*, 1998a,b; Reina *et al.*, 2012; Salazar, 2013; Fuentes *et al.*, 2014; Bermúdez *et al.*, 2015). Estas modificaciones son importantes ya que influyen en la textura y en el desarrollo de aromas y sabor (Toldrá, 1998; Gianelli *et al.*, 2005).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

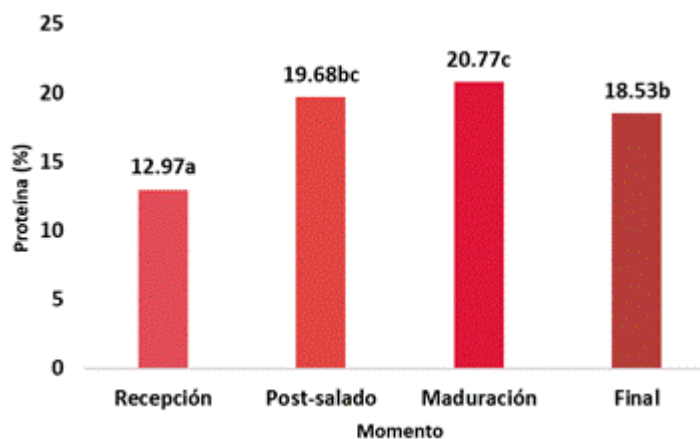


Figura 32. Proteína (%) en la carne de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-curado. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

Por último, estas variaciones también pueden estar ligadas a la pérdida de peso que sufren los jamones y con ello al error que se puede cometer al expresar los niveles en porcentaje frente al peso íntegro. Otro factor influyente es de tipo metodológico, ya que el contenido en proteína se determina evaluando el nitrógeno total, de manera que los procesos de proteólisis que se producen durante la elaboración del jamón generan aminoácidos libres o fuentes de nitrógeno no proteico.

Se observa una diferencia significativa en relación al tipo de secado en lo que respecta al contenido en proteína, siendo mayor en el caso del secado al natural (18.24%) con respecto al secado en cámara (17.74%). Estos valores pueden deberse a que las condiciones de secado en ambiente natural dan lugar a jamones con un mayor contenido en humedad, pero menor en grasa, haciendo que el reparto de porcentajes totales no afecte tanto a la proteína total. En el caso del secado en cámara, los niveles de humedad son bajos, pero los de grasa más elevados, con un porcentaje más representativo, influyendo así en un menor contenido en proteína en este tipo de secado, no como pérdida de proteína sino como menor proporción con respecto al resto de componentes. En cualquier caso, una determinación específica del contenido en proteína y no del nitrógeno total, permitiría observar que ésta disminuye, pero aumentan de los aminoácidos libres durante el secado (Lorenzo *et al.*, 2011).

El incremento en la aparición de aminoácidos libres se produce sobre todo en las fases de secado donde se aumenta la temperatura, lo que favorece la proteólisis (Córdoba *et al.*, 1994a), pero también podría deberse a que en el caso de los jamones secados en ventana se produzca una mayor generación

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

de compuestos volátiles provenientes de la reacción de Maillard (Flores *et al.*, 1997) y la degradación de Strecker (Shaihidi *et al.*, 1986; Flores *et al.*, 1998; Gianelli *et al.*, 2005), a partir de los aminoácidos derivados de la proteólisis, lo cual repercutirá en el flavor del producto.

La tendencia general es que se produzca una intensa proteólisis a lo largo del proceso de elaboración del jamón (Mora *et al.*, 2019) observándose dicho aumento con respecto a la fase anterior. Responsables de esta proteólisis son las endopeptidasas y las catepsinas B y L que juegan un papel muy importante en la degradación proteica. Todas se encuentran activas hasta los 15 meses de curado aproximadamente. La catepsina D solo actuaría en los primeros meses (Toldrá *et al.*, 1993; García-Garrido *et al.*, 2000). En los cerdos criados en condiciones extensivas existe una inhibición de DPP I y II y aminopeptidasas: alanil, piroglutamil y una activación de DPP IV y leucil (López-Bote *et al.*, 2008), lo que podría repercutir en una menor degradación proteica. Además, el ejercicio que pueden realizar estos animales gracias al sistema de cría en extensivo disminuye la actividad de enzimas proteolíticas, aunque esto no afecta de manera importante a los aminoácidos generados (López-Bote *et al.*, 2008).

Las interacciones entre variables son estadísticamente significativas en dos casos, cuando se cruza la procedencia con el momento de secado-curado y entre la procedencia y el sistema de secado. La figura 33 muestra que la tendencia general en el contenido en proteína, y por tanto la interacción significativa, se produce para el momento final. En todas las fases desde la recepción hasta el final, el jamón convencional tiene mayor contenido en proteína, excepto en la fase de post-salado, donde el jamón ecológico es el que presenta los valores más altos (20.78), coincidiendo con los menores niveles con respecto a las otras dos procedencias en cuanto a porcentaje de humedad y grasa, lo que produce un aumento en proporción del contenido en proteína. Gallego *et al.* (2018) reportan que los nitratos y nitritos ejercen un efecto antioxidante frente a la lipólisis y la proteólisis, pudiendo resultar en una menor alteración de las proteínas en esta fase, aunque diversos autores (Rico *et al.*, 1990; Toldrá *et al.*, 1992; Lorenzo *et al.*, 2008) no han visto una influencia significativa de la adición de nitratos y/o nitritos sobre la degradación de proteínas miofibrilares. Pero esta relación no puede establecerse ya que el análisis llevado a cabo ha sido a través del método Kjeldhal que determina el nitrógeno total.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

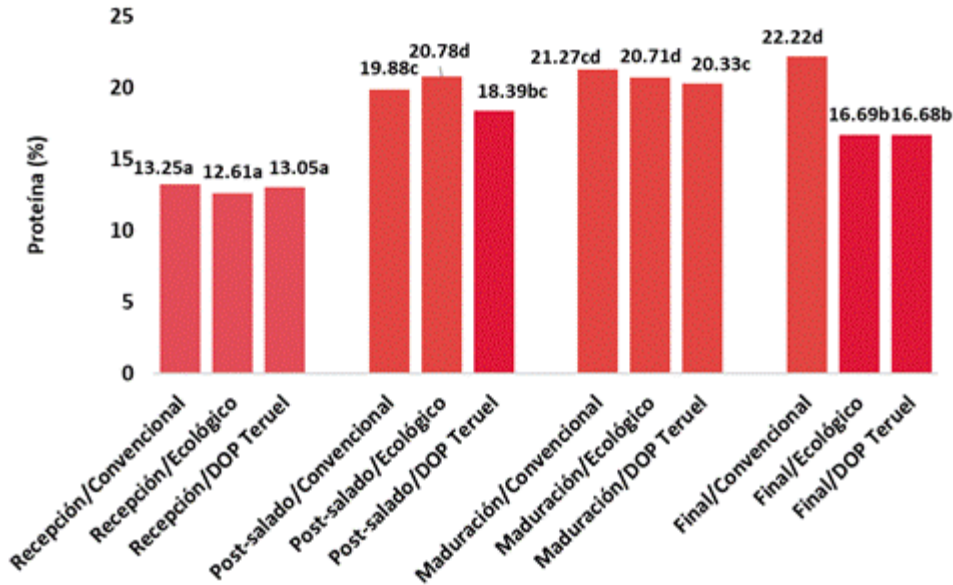


Figura 33. Proteína (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

En la muestra tomada a los 8 meses, ya durante el proceso de secado, se observa que los niveles de proteína suben para todos tipos de jamón siendo el mayor contenido para la procedencia convencional (21.27%), después el ecológico (20.71%) y por último la DOP Teruel (20.33%) esto supone un aumento del nitrógeno que según Córdoba *et al.* (1994a) se corresponde a un aumento del nitrógeno no proteico que se da durante las fases de salado y secado, dando lugar a una disminución de las proteínas miofibrilares, que al inicio de esta fase sufren una intensa proteólisis (Toldrá *et al.*, 1992). Aunque en nuestro análisis no podemos diferenciar nitrógeno proteico de no proteico.

En la etapa final, a los 18.5 meses con el jamón ya curado el valor de proteína del producto final aumenta para la procedencia convencional llegando hasta el 22.22%, mientras que el ecológico y la DOP Teruel disminuyen (16.69 y 16.68%, respectivamente), lo cual se relaciona con los valores aumentados de humedad para estos productos en la última toma de muestras. Otro factor que se podría considerar es la coloración más roja de estos productos, asociada a una mayor presencia de mioglobina, proteína con un efecto pro oxidante que favorece la degradación proteica. El efecto de esta proteína desaparece prácticamente a los 17.5 meses (Mora y Toldrá, 2012), permitiendo la actuación de otras enzimas proteolíticas musculares que aumentarían la degradación. Aunque esta relación no es posible

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

establecerla al no haberse realizado el análisis de componentes proteicos de forma individual, sino conjunta a través del método Kjeldhal.

De forma individual, el efecto de secar los jamones con el sistema natural, es decir, con ventana abierta genera mayor nivel de proteína en los jamones, pero esta tendencia difiere en función de la procedencia del pernil. La figura 34 muestra los niveles de proteína altos que se alcanzan con el sistema de secado de ventana abierta para los jamones DOP Teruel, mientras que los jamones de procedencia convencional acumulan los mayores niveles de proteína cuando son secados en cámara y para los jamones de procedencia ecológica el sistema de secado no influye en la acumulación de proteína en el jamón, ya que alcanza valores similares cuando los jamones se secan en cámara y en ventana abierta.

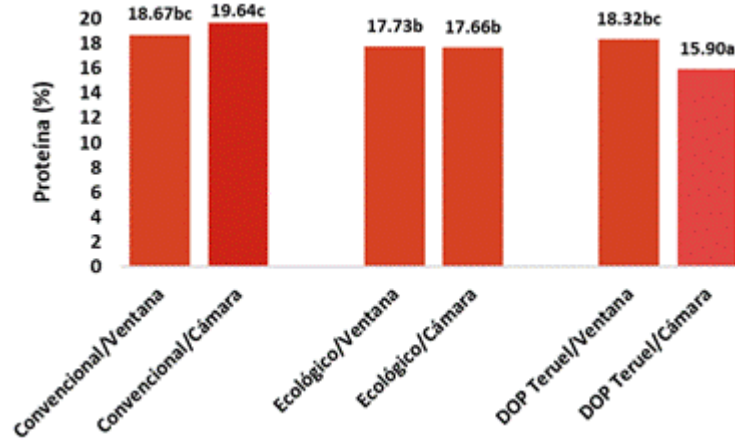


Figura 34. Proteína (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

El secado en cámara permite controlar de forma fácil los diferentes parámetros para tener un producto más homogéneo (Gou *et al.*, 2012) al poder controlar los parámetros de temperatura, humedad y flujo de aire (Zumalacárregui, 1997). En el secado en ventana las temperaturas que se alcanzan son mayores, aunque en momentos puntuales a lo largo del día (Domínguez-Gómez y Raigón, 2019), lo que hace que los fenómenos de proteólisis y lipólisis, junto con el desarrollo de aromas a partir de los precursores, sea más elevado dando unas características particulares al producto en cuanto a sabor y aroma (Gianelli *et al.*, 2005). Este secado va a requerir de técnicos conocedores de la materia prima y del proceso de curación, para llevar a cabo la apertura y cierre de ventanales en función de la

temperatura y humedad del medio ambiente (Zukál e Incze, 2010). En el caso del jamón procedente de la DOP Teruel y de ecológico, la degradación se va a dar principalmente sobre los lípidos, lo que genera una cantidad importante de aromas y hace que la proteína no se vea tan afectada.

4.1.3. Evaluación del contenido mineral total, sodio y hierro

El contenido mineral total, expresado en cenizas totales, hace referencia a los componentes inorgánicos presentes en el jamón procedentes del análisis de residuos inorgánicos que quedan después de la ignición completa de la materia orgánica. Las cenizas están compuestas por diferentes elementos, entre los que predominan el Na, Fe, Zn, Cl, Se, Mg, Cu, K y en menor medida Ca, P, Al, Mn y B (Reig *et al.*, 2013). El contenido en minerales total se ve incrementado a lo largo del proceso de curado del jamón debido, principalmente, al aumento del sodio por la salazón que se realiza en las fases iniciales del proceso de elaboración del jamón (Larrea, 2003).

La sal común que se añade para la elaboración del jamón curado tiene dos funciones fundamentales, aportar sabor y reducir el contenido de agua de la carne. Otras funciones, no menos importantes, son la de evitar la proliferación de microorganismos al crear un medio no apto para su crecimiento y controlar e incluso inhibir la actividad de diferentes enzimas presentes en el jamón, como pueden ser las enzimas proteolíticas, logrando de este modo y en función del contenido de sal añadido, que la velocidad de degradación sea mayor o menor. Aspecto importante a controlar porque de ello dependerá en gran medida la textura del producto final. Este contenido en sal varía en función del músculo, siendo menor en los músculos más internos (Pérez-Álvarez *et al.*, 1998).

Algunos de los factores que afectan a la distribución de la sal en el producto son la forma en la que esta se añade (seca, húmeda o en salmuera), el formato de sal (sales de grano fino se disuelven rápidamente y se pierden con facilidad, no llegando a penetrar en el producto), el pH de la materia prima (en carnes PSE la salmuera difunde rápidamente, al contrario de lo que pasa en las carnes DFD), la congelación previa de la materia prima (lo cual favorece la salmuera en superficie) o el tiempo de salado (este puede variar entre 0.65 y 2 días por kg, aunque lo normal es un 1 día por kg de peso) (Arnau, 2007).

El contenido en sodio y más concretamente en cloruro sódico se incrementa a lo largo del proceso de curado como consecuencia de la penetración y distribución de la sal en el producto, así como de la

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

reducción en el contenido acuoso que hace que se eleven las cantidades en el resto de componentes (Monin *et al.*, 1997).

El contenido de hierro en la carne de cerdo (1.35 mg por 100 g de fracción comestible) y durante el proceso de secado-curado se mantiene bastante estable, oscilando en el jamón curado entre 1.8 y 3.3 mg por 100 g de fracción comestible (Jiménez-Colmenero *et al.*, 2010). Los leves incrementos que se detectan a lo largo del proceso de secado son debidos a la concentración y mayor densidad, por efecto de la deshidratación. Aproximadamente el 43% del hierro total presente en el jamón está en la forma hemo, es decir en forma fácilmente disponible o bioasimilable (D'Evoli *et al.*, 2009). Además del valor nutricional del hierro en el jamón, este elemento mineral participa activamente en el desarrollo del color rojo de la carne, ya que la mioglobina es una proteína con el complejo de hierro de la porfirina, y el color depende del tipo de molécula que se coordina con el hierro y del estado en el que este se encuentre.

La tabla 20 muestra los resultados del análisis de la varianza multifactorial para el contenido en cenizas (%), hierro (mg Fe/100 g jamón) y sodio (mg Na/100 g jamón), en función del momento del proceso de secado, de la procedencia y sistema productivo y del tipo de secado. Además, se muestra el error estándar para cada uno de los resultados. En negrita aparecen los valores que presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Se observa que para la composición mineral estudiada en el jamón, solamente el momento del proceso de secado-curado es estadísticamente significativo. Aunque la interacción entre algunas variables también muestra diferencias significativas al 95% de confianza.

Bajo la producción convencional de manejo del ganado y de sistema de proceso del jamón se concentran mayores niveles de minerales totales, pero sin diferencias significativas. Así, la procedencia convencional de los perniles presenta la mayor cantidad de cenizas, seguida de los jamones procedentes de la DOP Teruel, mientras que los jamones ecológicos presentan las menores concentraciones, posiblemente debido a la menor presencia de las sales en el proceso de elaboración.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 20. Resultados promedio y error estándar del contenido en cenizas (%), hierro (mg/100 g jamón) y sodio (mg/100 g jamón) en función del sistema productivo y la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado.

Factores	Variables	Cenizas	Hierro	Sodio
Producción	Convencional	3.58±0.06	0.50±0.01	1255.31±22.90
	Ecológico	3.41±0.09	0.52±0.02	1210.53±32.39
Procedencia	Convencional	3.64±0.09	0.52±0.02	1240.63±32.18
	Ecológico	3.41±0.09	0.52±0.02	1210.53±32.18
	DOP Teruel	3.51±0.09	0.49±0.02	1269.99±32.18
Momento de curado	Recepción	1.02±0.10	0.38±0.02	134.24±37.16
	Post-salado	4.95±0.10	0.58±0.02	1536.53±37.16
	Maduración	4.40±0.10	0.57±0.02	1148.69±37.16
Sistema de secado	Final	3.72±0.10	0.51±0.02	2142.08±37.16
	Natural	3.53±0.07	0.51±0.01	1253.32±26.28
	Cámara	3.51±0.07	0.51±0.01	1227.44±26.28

El momento de secado-curado muestra diferencias significativas, ya que en el punto de la recepción las carnes presentan las menores concentraciones en cenizas, valores que ascienden significativamente en el momento de post-salado, alcanzando el punto máximo, como consecuencia de la salazón realizada en los jamones, a partir de este punto, las concentraciones en minerales totales descienden, posiblemente debido a la exudación, que sufren los jamones en estos momentos y que puede incluir en la composición de los exudados, ciertos elementos minerales. Esta tendencia se observa para las tres procedencias de jamón, de manera que la interacción entre el momento del proceso y la procedencia no resultan estadísticamente significativa (figura 35).

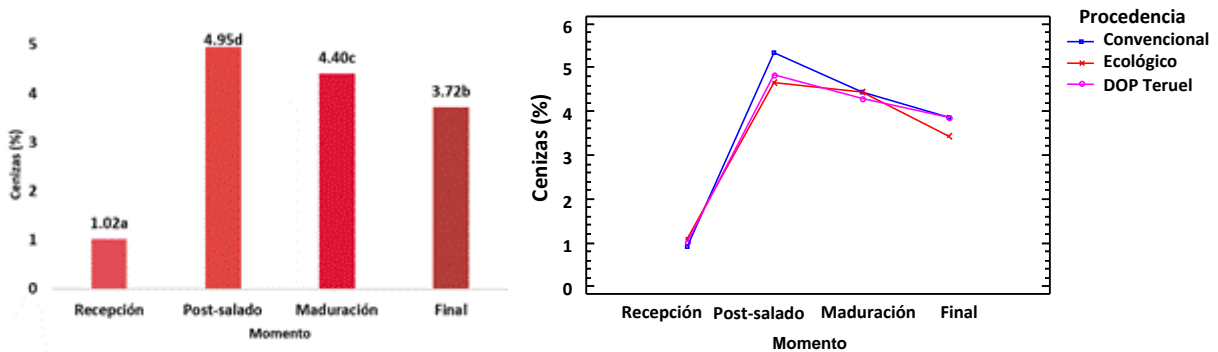


Figura 35. Cenizas (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-curado (izquierda). Interacción entre el momento del proceso y la procedencia (derecha). Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La menor concentración de minerales totales se encuentra en la recepción de la materia prima, donde se obtiene un 1.02%, valor que se encuentra próximo al 1.04% del bíceps *femoris* o al 1.19% del *semimembranosus* reportados por Larrea (2003) en su estudio sobre la caracterización química del jamón DOP Teruel. Pero que difiere de los presentados por Salazar (2013) o Bermúdez *et al.* (2015) que en carne fresca encuentran valores entre 4.11% y 4.75% en un estudio realizado en Chato Murciano y cerdo Celta respectivamente. Igual ocurre con el valor en el producto final donde el resultado de 3.72% encontrado se aproxima más a los resultados obtenidos por Larrea (2003) que a los observados por los otros autores.

Respecto a la evolución a lo largo del proceso, se produce el aumento como consecuencia del proceso de salazón (Salazar, 2013) que sufre el producto, lo que provoca una concentración de minerales, así como un aumento de Na debido a la adición del cloruro sódico. Los valores inician con un 1.02% para la carne y pasan a un 4.95% en el post-salado, para bajar a 4.40% en la maduración y acabar con valores de 3.72% en la muestra final. Los músculos de la zona de la punta muestran un comportamiento, en cuanto a la variación de las cenizas, muy similar a lo que ocurre con el músculo *semimembranosus* empleados en otros estudios (Larrea, 2003; Bermúdez *et al.*, 2015) donde se produce un aumento significativo en la fase de post-salado, que luego disminuye en fases posteriores hasta el final, siendo siempre los valores minerales de las fases finales superiores a los encontrados en la carne.

Aunque el sistema de secado no influye significativamente en la acumulación de minerales totales en el jamón, cuando interacciona con otras variables sí que se presentan diferencias estadísticamente significativas. De forma que cuando se produce el proceso de secado en ventana abierta, los niveles de minerales totales o cenizas son los más bajos, pero si el sistema de secado es en cámara, esta tendencia se invierte y los jamones de procedencia ecológica presentan los niveles más altos de cenizas, posiblemente debido a que el secado a ventana abierto influye en una mayor exudación en los jamones de procedencia ecológica. Ello hace que al estudiar la interacción entre el sistema de secado y el productivo, la concentración en minerales totales es mayor cuando los jamones de producción convencional se secan con ventana abierta, mientras que con el sistema productivo ecológico y con ventana abierta, como sistema de secado, se alcanzan los valores más bajos en cenizas totales (figura 36).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

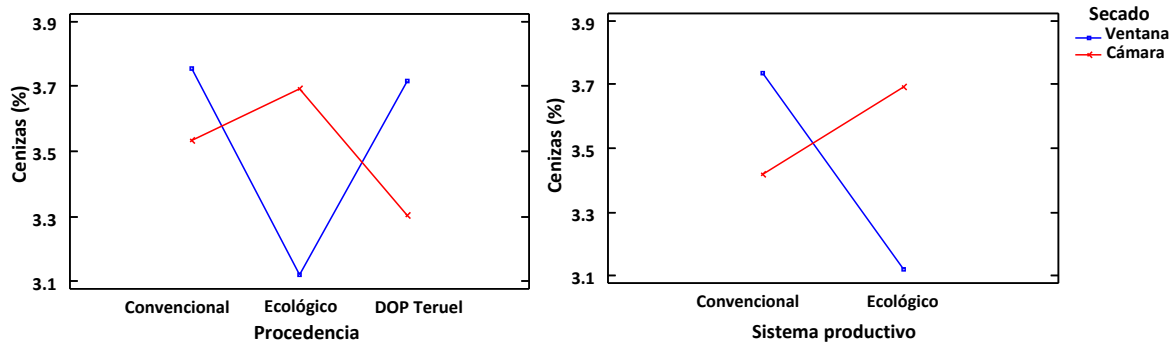


Figura 36. Interacción entre la procedencia y el sistema de secado (izquierda) y entre el sistema productivo y el sistema de secado (derecha) para el contenido en minerales totales del jamón.

Además, durante el secado en cámara la concentración de oxígeno es menor, lo que hace que los macronutrientes sufran menos procesos de degradación y oxidación, que junto con el efecto antioxidante de los nitratos hace que el jamón convencional y el de la DOP presenten menores niveles de cenizas y mayores de nitrógeno no proteico y menos productos de la oxidación lipídica (Sánchez, 2003). En cambio, cuando el secado se produce en ventana, la mayor disponibilidad de oxígeno hace que los procesos oxidativos afecten en especial al jamón ecológico que a pesar de tener mayores niveles de antioxidantes por la alimentación del ganado, es más susceptible por no tener el efecto protector de los nitratos. Ello provocaría, la menor concentración en los niveles de cenizas ya que, aunque el valor de proteína sea mayor en el secado en ventana que en cámara para la procedencia ecológica, el valor porcentual de las cenizas será menor y generará mayor oxidación del hierro, con respecto a los valores de los jamones de procedencia convencional.

El hierro es el elemento traza más importante en el organismo animal (Galián Jiménez, 2007) y se encuentra mayoritariamente en la hemoglobina (Martínez *et al.*, 1999). El contenido en hierro, en todos los casos es bajo (aproximadamente 0.5 mg de Fe por cada 100 g de fracción comestible) y está por debajo de los valores que se indican en la bibliografía (BEDCA, 2020). En general, se trata de una concentración muy estable atendiendo al sistema de producción, procedencia de la carne y sistema de secado en el proceso de elaboración del jamón, encontrando una ligera variabilidad en función del momento del proceso. La tendencia observada es similar a la del contenido en cenizas, y en el punto de la recepción de las carnes se encuentran las menores concentraciones en hierro (0.38%), valores que ascienden significativamente en el momento de post-salado y se mantienen en la maduración, para

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

descender en el momento final del proceso de elaboración del jamón (0.51%). Esta tendencia difiere en función de la procedencia del jamón, encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre la interacción del momento del proceso y la procedencia (figura 37), observándose que en el momento de maduración, los contenidos de hierro del jamón de procedencia convencional, en lugar de incrementarse, disminuyen significativamente.

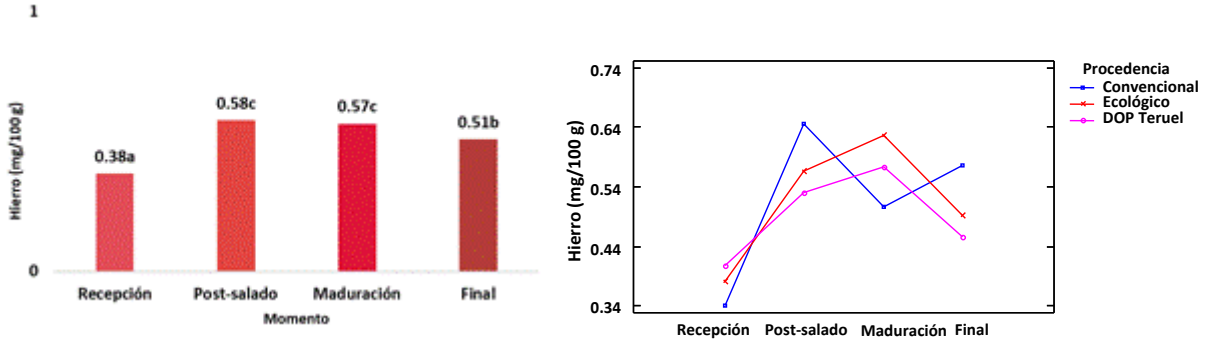


Figura 37. Contenido en hierro (mg/100 g de fracción comestible) de la carne de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-curado (izquierda). Interacción entre el momento del proceso y la procedencia (derecha). Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

En especial es el jamón ecológico el que incrementa el valor de este mineral, esto podría asociarse a la sustitución del Fe por Zn en la formación del pigmento ZnPP como así sostienen Wakamatsu *et al.* (2007) en una sus 3 posibles teorías sobre la formación del color en los productos sin nitratos, indicando que las otras dos podrían ser acción de ciertas bacterias o actuación del enzima ferroquelatasa. Este aumento da lugar a que el jamón de producción ecológica y el convencional alcancen el mismo nivel de Fe (0.52%), cuando de inicio la carne de cerdos procedentes de producción intensiva da mayores niveles de Fe (Peinado *et al.*, 2009), por lo que en esta etapa debería tener un nivel más alto continuando con el aumento.

El sistema de secado no influye en la concentración del contenido en hierro del jamón, observándose tendencias que siguen la rutina ya explicada (figura 38).

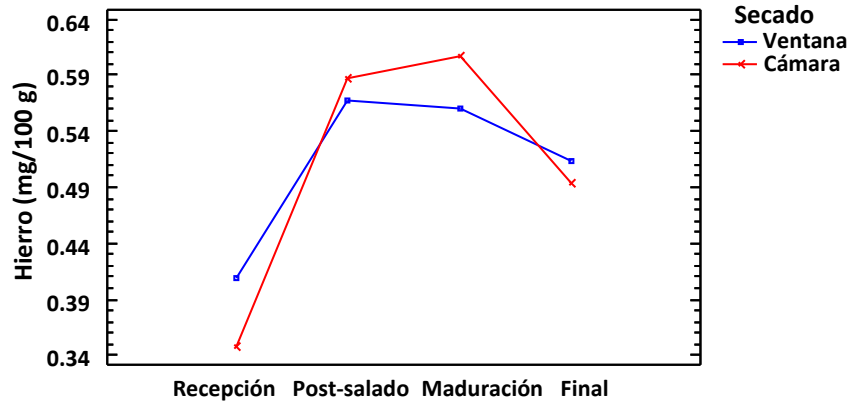


Figura 38. Interacción entre el momento del proceso y el sistema de secado para el contenido en hierro del jamón.

El contenido en sodio muestra variaciones significativas en función del momento del proceso de curado, algo lógico, ya que, a través de la adición de cloruro sódico en la salazón de los perniles, este elemento mineral se ve modificado. En general, el contenido en sodio de la carne de cerdo encontrado en el momento de la recepción es el más bajo (134.24 mg/100 g), con concentraciones que duplican los niveles que se citan en bibliografía para cortes de carne de cerdo en crudo (BEDCA, 2020). La adición de sal común eleva los contenidos de sodio en el momento del post-salado. Y durante el proceso de maduración los niveles de sodio disminuyen posiblemente debido a las exudaciones que se producen en este período. Finalmente, transcurridos los 18.5 meses, los niveles de sodio vuelven a incrementarse alcanzando valores promedio de 2142 mg de sodio (figura 39), coincidiendo con los niveles que se encuentran en bibliografía (BEDCA, 2020). La subida de la concentración de sodio en el momento final puede ser debido a la forma de expresión de los resultados, sobre el total de masa, y tratarse en este momento de una carne más seca.

La disminución de los niveles de sodio que se producen durante el madurado (1148.69 mg/100 g), posiblemente está relacionado con la difusión de la sal a zonas más internas, aumentando al final del proceso, como consecuencia de la mayor pérdida de agua (Bermúdez *et al.*, 2015).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

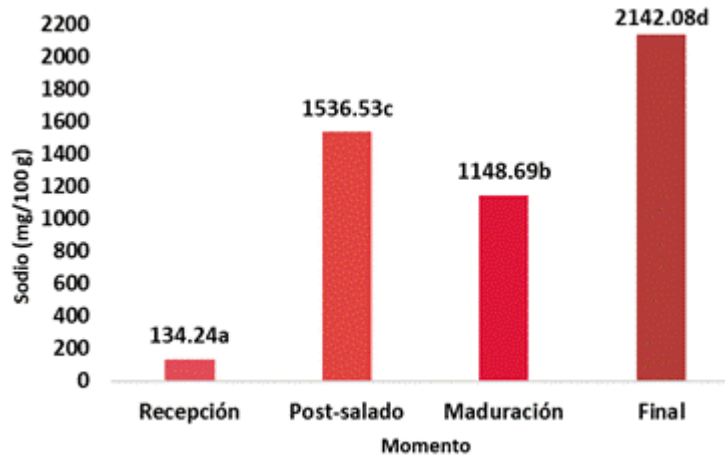


Figura 39. Contenido en sodio (mg/100 g de fracción comestible) de la carne de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-curado. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

Las variaciones en sodio a lo largo del proceso de curado son altamente significativas e influyen en las interacciones con el resto de variables, siendo los cruces del momento de curado frente a la procedencia y frente al sistema de secado, estadísticamente significativas, al igual que la interacción entre el sistema de secado y la procedencia de la carne. Así, la tendencia en la concentración de sodio en cada momento del proceso de curado se mantiene para los jamones de todas las procedencias, aunque para el caso de los jamones de procedencia ecológica, al final del proceso, las concentraciones en sodio son inferiores (figura 40).

Atendiendo la procedencia del jamón en cada momento se observa que el jamón ecológico es el de menor contenido en sodio (1126.29 mg/100 g), aunque en fases como el post-salado y la maduración es el que mayor valor presenta, pudiendo relacionarse con el menor contenido en grasa, que generaría en estas primeras fases del proceso, que la difusión sea más rápida haciendo que el contenido en sodio se incremente.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

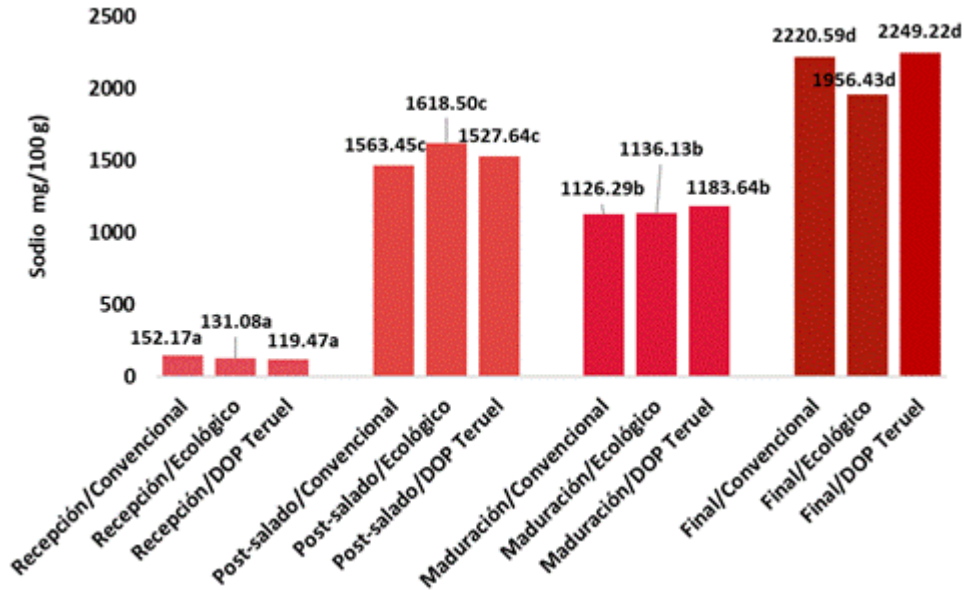


Figura 40. Sodio (mg/100 g de fracción comestible) de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

El contenido en sodio en función del momento del curado también se ve alterado por el sistema de secado. En el momento final, a pesar de no resultar significativo, se observa que el secado en cámara proporciona jamones con menor contenido en sodio, frente a lo que sucede en el resto de momentos muestreados, donde los jamones secados en ventana mostraban menores concentraciones en sodio (figura 41).

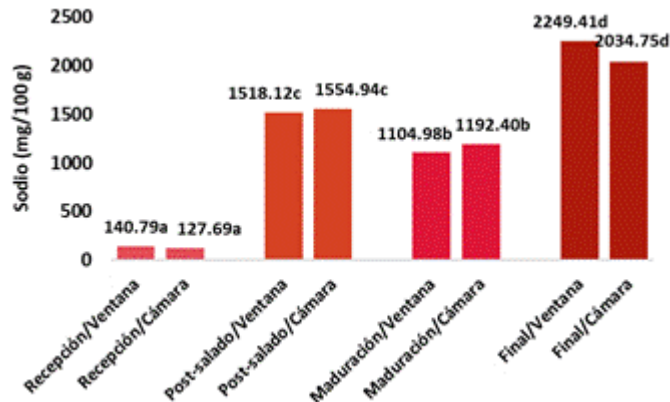


Figura 41. Sodio (mg/100 g de fracción comestible) de la carne de jamón y nivel de significación en función del sistema de secado y del momento de secado-maduración. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el sistema de secado en cámara los niveles de Na son más elevados para el momento del post-salado y el de maduración, algo que puede estar relacionado con la disminución de los procesos lipolíticos y proteolíticos, al reducirse la presencia de oxígeno, haciendo que los valores de sodio parezcan mayores, esto tendrá influencia sobre el desarrollo del flavor, puesto que al estar más inhibidos (Armenteros *et al.*, 2009) por la presencia de este mineral, los fenómenos oxidativos se darán en menor cantidad, siendo mayores en el sistema de secado en ventana abierta. Al final del proceso de curado del jamón, el sistema de secado con ventana es el que mayor concentración en Na presenta en los jamones, hecho que también observaron Martín *et al.* (1998b) debido a una disminución de las reacciones oxidativas que hace que este mineral se incremente, al contrario de lo que ocurre en el producto convencional, lo que favorecerá los fenómenos proteolíticos (Armenteros, 2010) que influirán en el desarrollo del aroma.

Por último, la concentración en sodio, también muestra variaciones en la interacción entre la procedencia y el sistema de secado, de forma que en los jamones de procedencia convencional, el sistema de secado con ventana abierta muestra los menores contenidos en sodio, mientras que cuando la procedencia es DOP Teruel, bajo las condiciones controladas de cámara, se alcanzan los menores contenidos de sodio, mientras que cuando los jamones son de procedencia ecológica, el sistema de secado no influye en la concentración de sodio (figura 42).

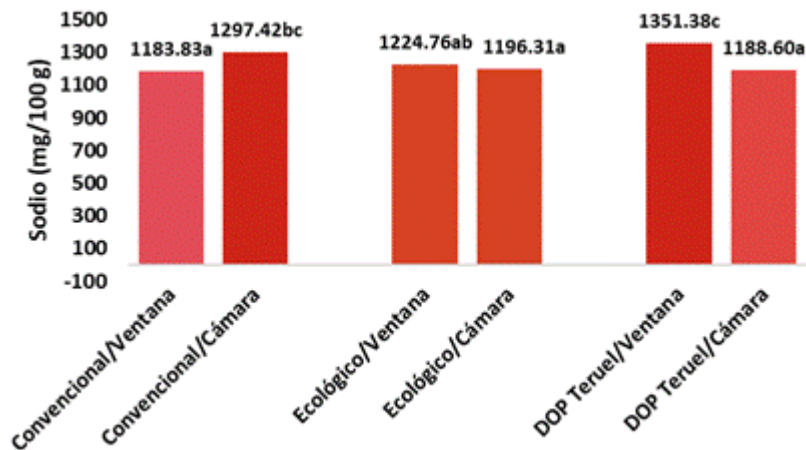


Figura 42. Sodio (mg/100 g de fracción comestible) de la carne de jamón y nivel de significación en función del sistema de secado y la procedencia. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estos valores del comportamiento de la concentración de sodio en el jamón en función de la procedencia y del sistema de secado, son similares a los observados para la proteína, donde el secado en cámara hace que los niveles de proteína sean mayores en los jamones de procedencia convencional y menores en los de procedencia ecológica y DOP Teruel, lo que evidencia que la presencia de componentes antioxidantes procedentes de la alimentación del ganado y los productos de la reacción de Maillard, generados en las etapas anteriores en mayor cantidad en el secado en ventana, para ambos casos, y la adición de nitratos en el jamón de la DOP Teruel, ejercen un efecto antioxidante sobre las proteínas, contrarrestando así los posibles efectos oxidantes del mayor contenido en sal (Armenteros, 2010).

Independientemente de las funciones tecnológicas que ejerce el sodio sobre el proceso de curado del jamón, el residuo que genera en el producto final ha llevado a formular alternativas para reducir las concentraciones finales de este elemento, por sus repercusiones nutricionales y sobre la salud (Aliño *et al.*, 2010). Los mayores contenidos en sal favorecen los fenómenos oxidativos (Hugas *et al.*, 1987) y afecta a los enzimas proteolíticos y lipolíticos (Zumalacárregui, 1997), lo cual repercutirá de forma importante en el desarrollo del aroma. La tabla 21 muestra las concentraciones promedio en cloruro sódico (%) presentes en los jamones, transcurridos los 18.5 meses, es decir, cuando el jamón está para el consumo y comercialización, diferenciando entre procedencia y sistema de secado.

Tabla 21. Contenido en cloruro sódico (%) en el momento final, en función de la procedencia y del sistema de secado.

Sistema de secado	Procedencia	Cloruro sódico (%)
Ventana	Convencional	5.68
	Ecológico	4.85
	DOP Teruel	6.61
Cámara	Convencional	5.60
	Ecológico	5.09
	DOP Teruel	4.82

Se observa que en todos los casos el contenido en cloruro sódico se encuentra entre el 4.82% y el 6.61%, valores que entran dentro de lo descrito por otros autores para jamón de cerdo blanco y cerdo ibérico (Hugas *et al.*, 1987; Monin *et al.*, 1997; Reina *et al.*, 2012; Salazar, 2013; Parolari *et al.*, 2016). Los jamones secados en ventana tienen un mayor contenido en sal frente al secado en cámara sobre todo

si son para producción de DOP, lo que podría explicarse con el hecho de que la sal se quede en estos músculos más externos, debido a su elevado contenido en grasa que le impide difundir hacia el interior debido a las temperaturas más elevadas que pueden llegar a darse en el secado en ventana, lo que hace que la grasa se funda. En los músculos más profundos la difusión es menos acusada (Larrea, 2003).

Para obtener jamones de bajo contenido en sodio, según los resultados, se podría optar por sistemas de secado con ventana abierta, siendo el sistema productivo y de transformación ecológico, y si los jamones se secan bajo condiciones controladas de cámara, emplear carnes de procedencia de la DOP Teruel.

4.1.4. Evaluación del perfil lipídico de la grasa

El perfil lipídico permite conocer la composición de la grasa presente en el jamón, determinando el porcentaje de ácidos grasos individuales y el de ácidos grasos saturados (AGS), monoinsaturados (AGMI) y poliinsaturados (AGPI). La composición en ácidos grasos del jamón se ve influida por aspectos como el tipo de producción, la raza del animal, la edad, el sexo, el peso y la alimentación, factores que determinan en gran medida la expresión lipídica que va a caracterizar al jamón (Fernández *et al.*, 2007).

En la carne de cerdo fresca los ácidos grasos más abundante son oleico, palmítico, esteárico y linoleico, seguidos de palmitoleico, mirístico, linolénico, margárico y araquidónico (Flores *et al.*, 1988). Muy similar a lo que ocurre en el jamón curado, donde de mayor a menor contenido, están presentes el ácido oleico, palmítico y esteárico, seguido de linoleico, araquidónico, palmitoleico, linolénico y mirístico (Toldrá y Flores, 1998).

La mayor generación de ácidos grasos libres se da en los cinco primeros meses del procesado como consecuencia de las reacciones de lipólisis (Toldrá y Flores, 1998). Durante la fase de madurado de los jamones, los ácidos grasos más estables son los AGS que son los únicos que aumentan durante el proceso (Martín *et al.*, 1999). Los AGMI y AGPI disminuyen a lo largo del período de madurado, relacionado con las reacciones oxidativas que tienen lugar. La mayor oxidación de ácidos grasos se da en los AGPI que son más susceptibles al estrés oxidativo y a la aparición de olores a rancio en procesos posteriores como la refrigeración o la congelación (Cava *et al.*, 2004). Así, la composición de las grasas influye sobre la generación de aromas y sobre aspectos como la textura al provocar la salida de agua del interior de la pieza (Ventanas *et al.*, 1999).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 22 muestra los resultados del análisis de la varianza multifactorial para el contenido en ácidos grasos saturados minoritarios (inferiores al 0.5% de concentración) y la tabla 23 muestra los resultados del análisis de la varianza multifactorial para el contenido en ácidos grasos saturados mayoritarios (superiores al 0.5% de concentración) y el total de ácidos grasos saturados (%), en función del momento del proceso de secado, de la procedencia y sistema productivo y del tipo de secado. Además, se muestra el error estándar para cada uno de los resultados. En negrita aparecen los valores que presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Tabla 22. Resultados promedio y error estándar del contenido en ácidos grasos saturados minoritarios* (%) en función del sistema productivo y la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado.

Factores	Variables	C8:0	C10:0	C11:0	C12:0	C20:0	C22:0	C24:0
Producción	Convencional	0.24±0.01	0.34±0.01	0.23±0.01	0.13±0.002	0.40±0.03	0.055±0.001	0.048±0.003
	Ecológico	0.22±0.01	0.30±0.02	0.20±0.01	0.13±0.003	0.46±0.03	0.048±0.001	0.043±0.004
Procedencia	Convencional	0.25±0.01	0.32±0.02	0.25±0.01	0.15±0.003	0.27±0.02	0.061±0.001	0.060±0.003
	Ecológico	0.22±0.01	0.30±0.02	0.20±0.01	0.13±0.003	0.48±0.02	0.048±0.001	0.043±0.004
	DOP Teruel	0.23±0.02	0.36±0.02	0.21±0.01	0.11±0.003	0.55±0.03	0.048±0.001	0.035±0.004
Momento de curado	Recepción	0.24±0.01	0.31±0.02	0.22±0.01	0.13±0.004	0.44±0.02	0.051±0.001	0.055±0.004
	Post-salado	0.22±0.01	0.29±0.02	0.20±0.01	0.13±0.005	0.45±0.02	0.055±0.001	0.052±0.004
	Maduración	0.24±0.01	0.34±0.01	0.23±0.01	0.13±0.003	0.41±0.04	0.053±0.001	0.054±0.004
	Final	0.23±0.02	0.37±0.03	0.23±0.02	0.13±0.003	0.42±0.02	0.049±0.001	0.022±0.004
Sistema de secado	Natural	0.21±0.01	0.30±0.01	0.20±0.01	0.12±0.003	0.45±0.02	0.049±0.001	0.044±0.003
	Cámara	0.25±0.01	0.35±0.01	0.24±0.01	0.14±0.003	0.41±0.03	0.055±0.001	0.048±0.003

* C8:0 (ácido graso caprílico), C10:0 (ácido graso cáprico), C11:0 (ácido graso undecanoico o undecílico), C12:0 (ácido graso láurico), C20:0 (ácido graso eicosanoico o araquídico), C22:0 (ácido graso behénico), C24:0 (ácido graso lignocérico)

Además de los ácidos grasos saturados mostrados en las tablas 22 y 23, también han sido detectados otros tres ácidos grasos, dos de cadena corta que son el ácido graso butírico (C4:0) y el ácido graso caproico (C6:0) y el ácido graso tridecanoico (C13:0), estos ácidos grasos no se han detectado en todos los casos, por ello no se incluyen en el análisis multifactorial. En cualquier caso, el análisis de la varianza simple ha mostrado que, los contenidos de estos ácidos grasos no presentan diferencias estadísticamente significativas, respecto a los factores de forma individual.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 23. Resultados promedio y error estándar del contenido en ácidos grasos saturados mayoritarios* (%) en función del sistema productivo y la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado.

Factores	Variables	C14:0	C16:0	C17:0	C18:0	AGS
Producción	Convencional	2.35±0.02	42.33±0.30	0.69±0.01	26.16±0.27	72.45±0.54
	Ecológico	2.14±0.03	40.48±0.42	0.67±0.02	23.70±0.38	67.89±0.76
Procedencia	Convencional	2.58±0.03	44.48±0.39	0.78±0.02	28.20±0.35	76.97±0.68
	Ecológico	2.14±0.03	40.48±0.39	0.67±0.02	23.70±0.35	67.89±0.68
	DOP Teruel	2.11±0.03	40.17±0.39	0.59±0.02	24.12±0.35	67.94±0.68
Momento de curado	Recepción	2.28±0.03	40.39±0.45	0.66±0.02	25.25±0.40	69.55±0.78
	Post-salado	2.33±0.03	42.14±0.45	0.66±0.02	25.26±0.40	71.29±0.78
	Maduración	2.24±0.03	42.34±0.45	0.67±0.02	25.53±0.40	71.89±0.78
Sistema de secado	Final	2.25±0.03	41.97±0.45	0.73±0.02	25.31±0.40	71.00±0.78
	Natural	2.20±0.02	40.74±0.31	0.67±0.01	24.91±0.28	69.46±0.55
	Cámara	2.35±0.02	42.68±0.31	0.69±0.01	25.77±0.28	72.40±0.55

*C14:0 (ácido graso mirístico), C16:0 (ácido graso palmítico), C17:0 (ácido graso heptadecanoico o margárico), C18:0 (ácido graso esteárico), AGS (total de ácidos grasos saturados).

Se observa que para los ácidos grasos saturados de menor concentración, el efecto de la procedencia es significativo para el ácido graso undecanoico, laurico, eicosanoico, behénico y lignocérico. También se observa que el sistema de secado influye significativamente sobre la fracción de ácidos grasos saturados de concentración minoritaria, a excepción del ácido graso eicosanoico y del lignocérico.

En general se observa que el sistema de producción ecológica (tanto de crianza como de proceso de producción del jamón) genera menores concentraciones de este tipo de ácidos grasos saturados. En la misma línea, el sistema de secado con ventana abierta genera que la grasa del jamón presente menor concentración de estos ácidos grasos saturados, excepto para el ácido graso eicosanoico, aunque las diferencias encontradas para este ácido graso no son estadísticamente significativas.

Se observa que para la fracción en ácidos grasos saturados de concentración mayoritaria la procedencia es altamente influyente en todos los casos y con ello, el sistema de producción, siendo superiores los valores para el caso de la producción convencional. También el sistema de secado influye significativamente en este tipo de ácidos grasos, excepto para la concentración en margárico, obteniéndose mayores concentraciones de ácidos grasos saturados en el sistema de secado en cámara.

El ácido graso mirístico presenta concentraciones estadísticamente superiores cuando la procedencia de la carne es convencional, y las concentraciones no difieren entre las procedencias

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ecológica y DOP Teruel, aunque la procedencia interfiere significativamente con el momento del secado (figura 43), sobre todo en el momento del post-salado y en el momento final, siendo en este momento las diferencias significativas para las tres procedencias.

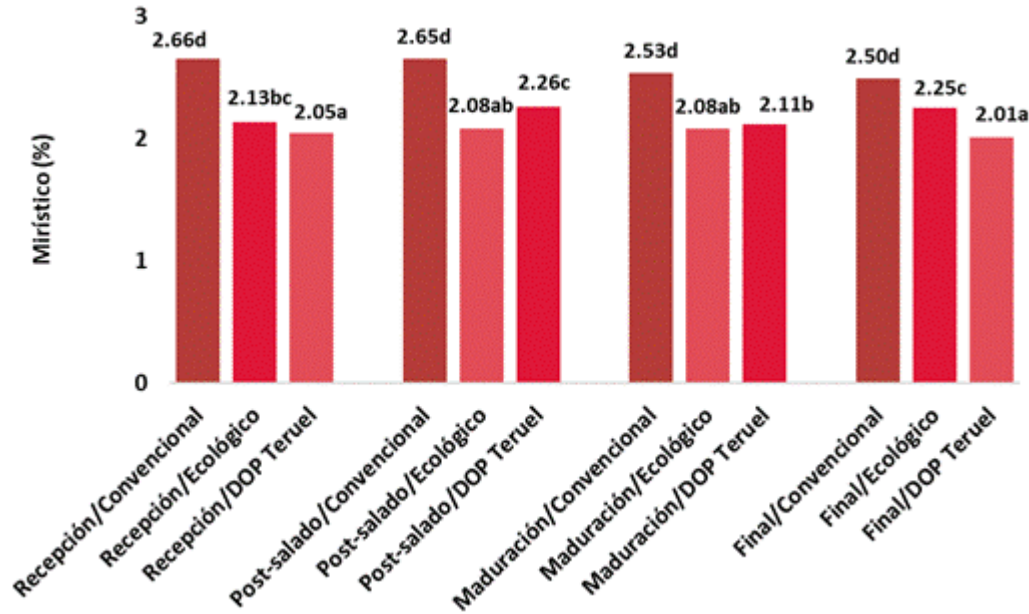


Figura 43. Ácido graso mirístico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

El efecto de secar los jamones con ventana abierta tiene significación en el menor contenido en el ácido graso mirístico, aunque el momento de secado y la procedencia interfieren con el sistema de secado en la concentración de este ácido graso saturado (figura 44). Así, esta tendencia se mantiene para las procedencias ecológicas y DOP Teruel del jamón, pero cuando la procedencia es convencional con el sistema de ventana abierta se producen las mayores concentraciones de ácido graso mirístico en la grasa del jamón. Para todos los momentos del proceso de secado-maduración se mantiene la tendencia de mayor concentración de ácido graso mirístico cuando el sistema de secado es en cámara, menos en el momento de maduración.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

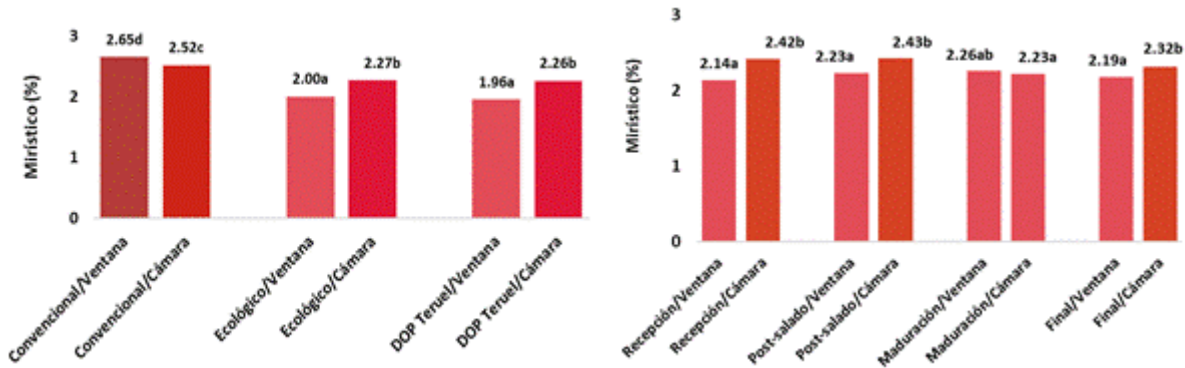


Figura 44. Ácido graso mirístico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha). Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

Las concentraciones del ácido graso palmítico son significativas para todas las variables estudiadas, siguiendo una pauta muy similar a la del ácido graso mirístico, siendo superiores cuando la procedencia de la carne es convencional, mientras que las concentraciones no difieren entre las procedencias ecológica y DOP Teruel, aunque la procedencia interfiere significativamente con el momento del secado (figura 45), sobre todo en el momento del post-salado y maduración, siendo para estos momentos las diferencias significativas para las tres procedencias, con mayores concentraciones en ácido graso palmítico, para la procedencia convencional, seguido de la procedencia DOP Teruel y por último de la procedencia ecológica.

Al secar los jamones con ventana abierta las concentraciones en el ácido graso palmítico son estadísticamente inferiores, aunque el momento de secado y la procedencia interfieren con el sistema de secado en la concentración de este ácido graso saturado (figura 46). Así, esta tendencia se mantiene para las procedencias ecológicas y DOP Teruel del jamón, pero cuando la procedencia es convencional con el sistema de ventana abierta se producen similares concentraciones de ácido graso palmítico en la grasa del jamón que cuando el secado es en cámara. Para todos los momentos del proceso de secado-maduración se mantiene la tendencia de mayor concentración de ácido graso palmítico cuando el sistema de secado es en cámara, menos en el momento de maduración.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

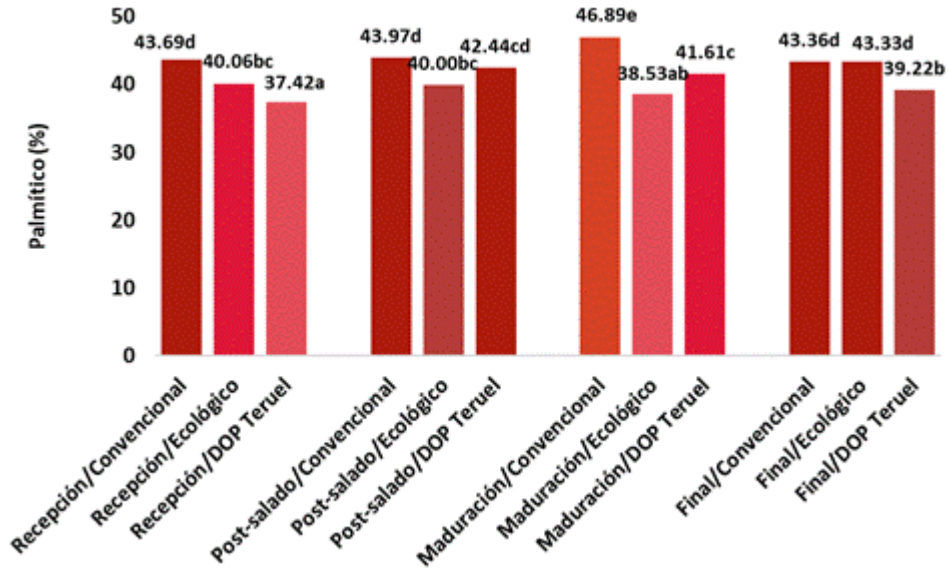


Figura 45. Ácido graso palmítico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

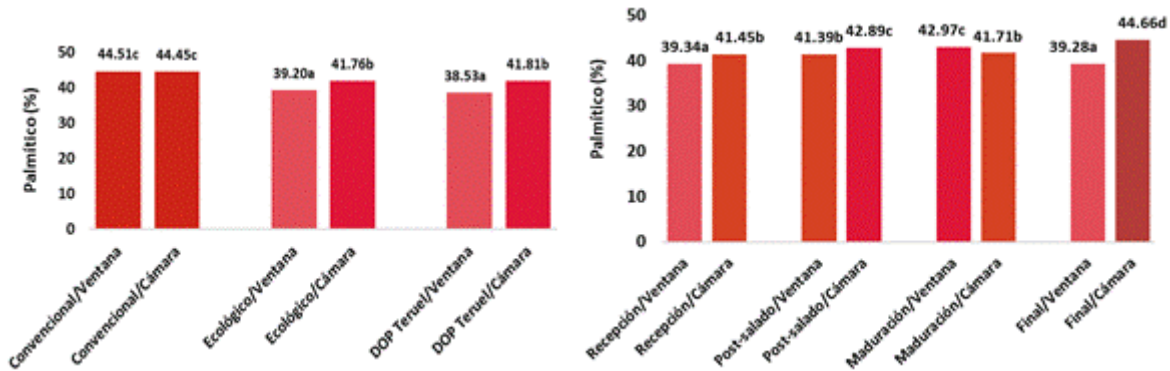


Figura 46. Ácido graso palmítico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha). Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

El ácido graso saturado margárico muestra diferencias significativas en función del momento del proceso de secado-maduración, de manera que las concentraciones son significativamente superiores para el momento final del proceso. La procedencia también muestra diferencias significativas al 95% de confianza, siendo las concentraciones superiores para la procedencia convencional, seguida de la ecológica, mientras que los jamones de la DOP Teruel presentan las concentraciones significativamente

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

inferiores en ácido graso margárico. Por otro lado, las interacciones entre las diferentes variables no son significativas.

Las concentraciones del ácido graso esteárico vuelven a mostrar una pauta similar a la encontrada para el mirístico y palmítico, con diferencias significativas para la procedencia, siendo las concentraciones superiores cuando la procedencia es convencional, mientras que las concentraciones en el ácido graso esteárico, no difieren entre las procedencias ecológica y DOP Teruel, aunque la procedencia interfiere significativamente con el momento del secado (figura 47), sobre todo en el momento del post-salado y maduración, siendo para estos momentos las diferencias significativas para las tres procedencias, con mayores concentraciones en ácido graso esteárico, para la procedencia convencional, seguido de la procedencia DOP Teruel y por último de la procedencia ecológica.

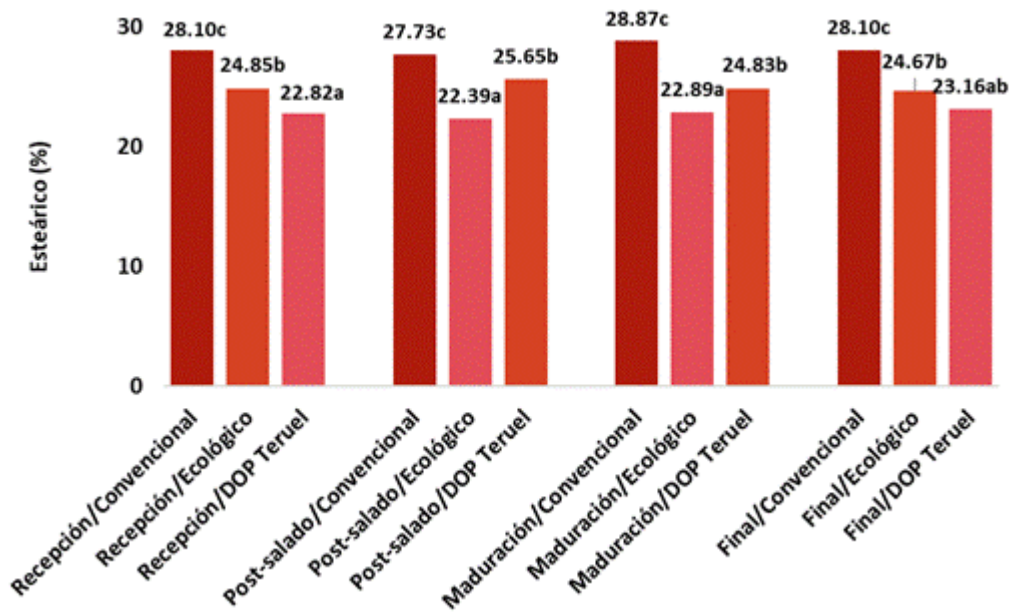


Figura 47. Ácido graso esteárico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

Al secar los jamones en cámara las concentraciones en el ácido graso esteárico son estadísticamente superiores, aunque el momento de secado y la procedencia interfieren con el sistema de secado en la concentración de este ácido graso saturado (figura 48). Así, esta tendencia se mantiene para las procedencias ecológicas y DOP Teruel del jamón, pero cuando la procedencia es convencional

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

con el sistema de ventana abierta se producen mayores concentraciones de ácido graso esteárico en la grasa del jamón que cuando el secado es en cámara. Para todos los momentos del proceso de secado-maduración se mantiene la tendencia de mayor concentración de ácido graso esteárico cuando el sistema de secado es en cámara, menos en el momento de maduración.

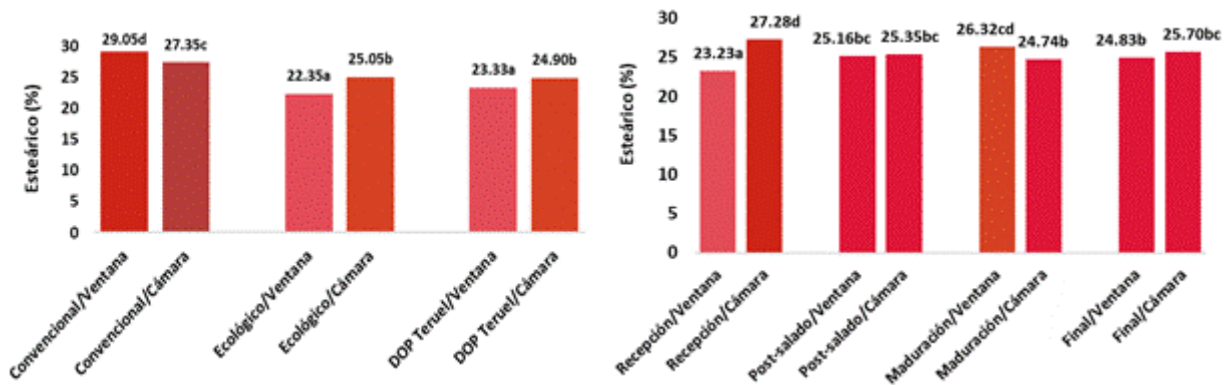


Figura 48. Ácido graso esteárico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha). Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

La fracción de los ácidos grasos saturados es cuantitativamente la más representativa de la grasa de la carne de cerdo y del jamón curado, oscilando entre valores de 63.6% hasta el 80.3%. En función de la procedencia, la convencional es la que muestra los valores superiores con diferencias estadísticamente significativas frente a las otras dos procedencias, mientras que los ácidos grasos saturados no difieren entre la procedencia ecológica y la DOP Teruel. El momento del proceso de secado-maduración genera las mayores concentraciones en los momentos de post-salado y maduración, aunque las diferencias no difieren estadísticamente. Por último, cuando los jamones se secan bajo condiciones controladas de cámara, las concentraciones en ácidos grasos saturados son significativamente superiores.

Las interacciones entre las diferentes variables para la concentración en el total de ácidos grasos saturados son significativas, así la procedencia interfiere significativamente con el momento del secado, sobre todo en el momento del post-salado y maduración, siendo para estos momentos las diferencias significativas para las tres procedencias, con mayores concentraciones para la procedencia

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

convencional, seguido de la procedencia DOP Teruel y por último de la procedencia ecológica, tal y como ocurre para los ácidos grasos mirístico, palmítico y esteárico, en estos momentos del proceso.

De forma similar a lo que ocurre con los ácidos grasos saturados con concentración mayoritaria, el total de ácidos grasos saturados muestra mayores concentraciones significativas, cuando se secan los jamones en condiciones de cámara, aunque el momento de secado y la procedencia interfieren con el sistema de secado en la concentración de esta fracción de los ácidos grasos. Así, esta tendencia se mantiene para las procedencias ecológicas y DOP Teruel del jamón, pero cuando la procedencia es convencional con el sistema de ventana abierta se producen mayores concentraciones de ácidos grasos saturados. Para todos los momentos del proceso de secado-maduración se mantiene la tendencia de mayor concentración de ácidos grasos saturados cuando el sistema de secado es en cámara, menos en el momento de maduración.

El ácido graso saturado mayoritario es el palmítico, coincidiendo con la bibliografía publicada para este grupo de ácidos grasos, pero no en lo referente al valor que aporta en el producto final (Lorenzo *et al.*, 2018). Los valores del ácido graso palmítico en la grasa de los jamones del presente estudio son superiores a lo registrado en bibliografía, posiblemente debido a que los datos bibliográficos pertenecen a grasa intramuscular o subcutánea de cerdo ibérico (Ventanas *et al.*, 1997) o de grasa intramuscular de cerdo blanco, mientras que en el presente estudio, los valores se corresponden a grasa, tanto subcutánea como intramuscular de cerdo blanco, pudiendo ser la fracción polar la mayoritaria, que a su vez es la que más palmítico, esteárico y linoleico contiene (Cava *et al.*, 1997). Además, la parte del jamón analizado (punta) posee mayor nivel de grasa, que también ha podido influir en la mayor presencia de ácidos grasos saturados frente a los mono y poliinsaturados (Bañón *et al.*, 2000). La mayor presencia de AGS también podría relacionarse con la raza, ya que la raza *Duroc* empleada tiende a niveles más elevados de AGS (Argemí-Armengol *et al.*, 2019), de ahí el alto porcentaje de palmítico en la grasa del jamón de DOP de Teruel (Campo y Sierra, 2011).

Los AGS aumentan a lo largo del proceso lo cual se debe en parte a su formación vía oxidación de AGPI (Martín *et al.*, 1999; Salazar, 2013), lo que explicaría los bajos porcentajes de estos ácidos grasos en relación al elevado contenido de AGS. En general los ácidos grasos libres aumentan conforme avanza el proceso de curado debido a la degradación por parte de lipoproteinasas (Martín *et al.*, 1999;

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Gandemer, 2002; Salazar, 2013). La presencia de AGS, sobre todo esteárico da lugar a grasa de calidad con una consistencia firme y una coloración blanca. Al contrario de lo que ocurre cuando la grasa está compuesta mayoritariamente por ácidos grasos insaturados (Bañón *et al.*, 2000).

La presencia de ácidos grasos saturados es mayoritaria en la producción convencional frente a la ecológica, y el jamón DOP es el que menores valores presenta para todos los AGS mayoritarios, excepto para el esteárico.

En general, los jamones secados en cámara contienen un mayor contenido en ácidos grasos saturados, coincidiendo con lo descrito por Flores *et al.* (1988). Los lípidos neutros en el secado en ventana aumentan de forma significativa a partir de los 12 meses, aumentando el ácido esteárico y disminuyendo el oleico (Flores *et al.*, 1988).

La tabla 24 muestra los resultados del análisis de la varianza multifactorial para el contenido individual en ácidos grasos monoinsaturados y para el total de este tipo de ácidos grasos, en función del momento del proceso de secado, de la procedencia y sistema productivo y del tipo de secado. Además, se muestra el error estándar para cada uno de los resultados. En negrita aparecen los valores que presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Tabla 24. Resultados promedio y error estándar del contenido en ácidos grasos monoinsaturados* (%) en función del sistema productivo y la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado.

Factores	Variables	C16:1	C17:1	C18:1	C22:1	AGMI
Producción	Convencional	1.16±0.03	0.12±0.005	24.73±0.51	0.017±0.002	26.02±0.53
	Ecológico	1.64±0.04	0.18±0.007	28.66±0.72	0.016±0.002	30.48±0.75
Procedencia	Convencional	1.01±0.04	0.11±0.007	20.44±0.64	0.014±0.003	21.56±0.67
	Ecológico	1.64±0.04	0.18±0.007	28.66±0.64	0.016±0.002	30.48±0.67
	DOP Teruel	1.30±0.04	0.14±0.007	29.02±0.64	0.019±0.002	30.47±0.67
Momento de curado	Recepción	1.34±0.05	0.14±0.008	26.71±0.74	0.025±0.002	28.19±0.77
	Post-salado	1.33±0.05	0.15±0.008	26.12±0.74	0.019±0.003	27.60±0.77
	Maduración	1.30±0.05	0.14±0.008	24.77±0.74	0.012±0.004	26.21±0.77
Sistema de secado	Final	1.31±0.05	0.13±0.008	26.57±0.74	0.011±0.002	28.02±0.78
	Natural	1.34±0.03	0.16±0.005	27.52±0.52	0.016±0.002	29.02±0.55
	Cámara	1.29±0.03	0.13±0.005	24.56±0.52	0.017±0.002	25.99±0.55

*C16:1 (ácido graso palmitoleico), C17:1 (ácido graso heptadecenoico), C18:1 (ácido graso oleico), C22:1 (ácido graso erúxico), AGMI (total de ácidos grasos monoinsaturados).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observa que el modelo de producción y por tanto la procedencia junto con el sistema de secado son los factores que mayor grado de significación muestran para este tipo de ácidos grasos. El momento de curado sólo presenta diferencias significativas para el ácido graso erúico, que es un tipo de ácido graso con muy baja concentración, frente al total. El ácido graso oleico es el que presenta mayor concentración dentro de los ácidos grasos monoinsaturados, para la grasa del jamón, seguido del palmitoleico.

Las concentraciones del ácido graso palmitoleico presentan diferencias significativas para la procedencia, siendo superiores cuando los jamones son de procedencia ecológica, seguidas de las concentraciones en palmitoleico que presentan la grasa de los jamones de la DOP Teruel, y por último se encuentran las concentraciones significativamente más bajas, de este ácido graso monoinsaturado, cuando la procedencia es convencional. Aunque la procedencia interfiere significativamente con el momento del secado (figura 49), sobre todo en el momento del post-salado, siendo para este momento las diferencias significativas para las tres procedencias, con mayores concentraciones en ácido graso palmitoleico, para la procedencia ecológica, seguido de la procedencia convencional y por último de la procedencia DOP Teruel.

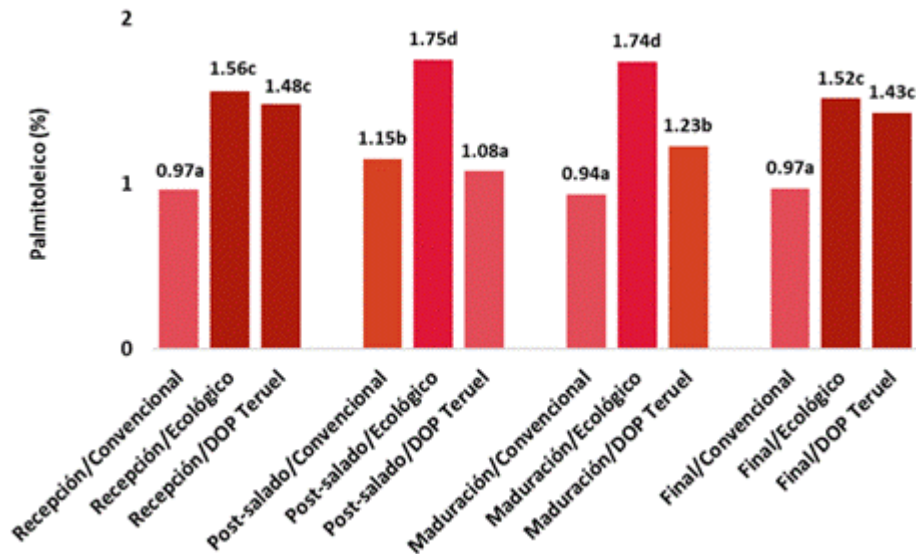


Figura 49. Ácido graso palmitoleico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al secar los jamones bajo el sistema de ventana abierta, las concentraciones en el ácido graso palmitoleico son superiores, pero sin mostrar diferencias estadísticamente significativas. Aunque el momento de secado y la procedencia interfieren con el sistema de secado en la concentración de este ácido graso monoinsaturado (figura 50). Así, esta tendencia se mantiene para las procedencias ecológicas y DOP Teruel del jamón, pero cuando la procedencia es convencional con el sistema de ventana abierta se producen menores concentraciones de ácido graso palmitoleico en la grasa del jamón que cuando el secado es en cámara. La tendencia de mayor concentración de ácido graso palmitoleico cuando el sistema de secado es en ventana abierta, se produce en los momentos de la recepción y del final del proceso de producción del jamón curado, pero en las fases intermedias de post-salado y maduración, la tendencia se invierte, obteniéndose mayor concentración de este ácido graso monoinsaturado, cuando se produce el secado en condiciones controladas de cámara.

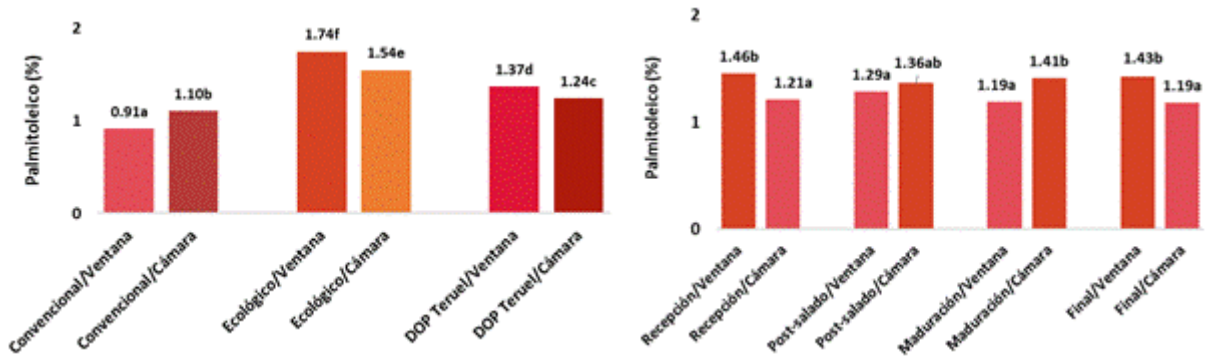


Figura 50. Ácido graso palmitoleico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha). Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

El ácido graso heptadecenoico muestra una tendencia similar a la mostrada por el ácido graso palmitoleico, de forma que excepto para el momento de curado, el resto de los factores presenta diferencias estadísticamente significativas, al 95% de confianza, para este ácido graso monoinsaturado. Al evaluar la procedencia, los jamones ecológicos son los de mayor concentración en el ácido graso heptadecenoico, seguido de los jamones de la DOP Teruel, mientras que los jamones convencionales muestran las menores concentraciones en este ácido graso. Esta tendencia interfiere con el momento de maduración del jamón, ya que en el post-salado, las mayores concentraciones siguen siendo para los

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

jamones de producción ecológica, pero le siguen en mayor concentración los de procedencia convencional y por último los de procedencia DOP Teruel.

Las concentraciones en el ácido graso heptadecenoico, en los jamones, se ven favorecidas por el sistema de secado bajo condiciones de ventana abierta, obteniendo concentraciones que difieren estadísticamente frente a las que se presentan en los jamones curados en cámara. Tendencia que se mantiene en los cuatro puntos del proceso de curación evaluados, pero que interfiere estadísticamente con la procedencia del jamón, ya que la mayor concentración del ácido graso cuando los jamones se secan en ventana abierta, se produce para los jamones de procedencia ecológica y convencional, pero no para los jamones de la DOP Teruel, donde con el sistema de secado en cámara se alcanzan mayores concentraciones de este ácido graso.

El ácido graso oleico presenta concentraciones estadísticamente superiores cuando la procedencia de la carne es ecológica, y estas concentraciones de oleico difieren de las presentes en la grasa de los jamones de procedencia convencional y de la DOP Teruel, que entre ellas no difieren, aunque la procedencia interfiere significativamente con el momento del secado (figura 51), sobre todo en los momentos de la recepción y del final, donde las concentraciones en oleico son más altas en la grasa de los jamones de la DOP Teruel, seguidos de los jamones ecológicos, mientras que los jamones convencionales muestran las menores concentraciones en oleico para los cuatro momentos muestreados.

El ácido oleico actúa como precursor de los aldehídos, relacionados con aromas agradables (Ventanas *et al.*, 1997), algo que podría influir en su menor contenido en el producto final, al transformarse químicamente desde el ácido graso a formar parte del aroma.

El efecto de secar los jamones con ventana abierta tiene significación en el mayor contenido en el ácido graso oleico, aunque el momento de secado y la procedencia interfieren con el sistema de secado en la concentración de este ácido graso monoinsaturado (figura 52). Así, esta tendencia se mantiene para las procedencias ecológicas y DOP Teruel del jamón, pero cuando la procedencia es convencional con el sistema de secado en cámara se producen las mayores concentraciones de ácido graso oleico en la grasa del jamón. Para todos los momentos del proceso de secado-maduración se mantiene la tendencia de mayor concentración de ácido graso oleico cuando el sistema de secado es en ventana

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

abierta, menos en el momento de maduración, donde el secado en condiciones controladas de cámara genera las mayores concentraciones del ácido graso oleico.

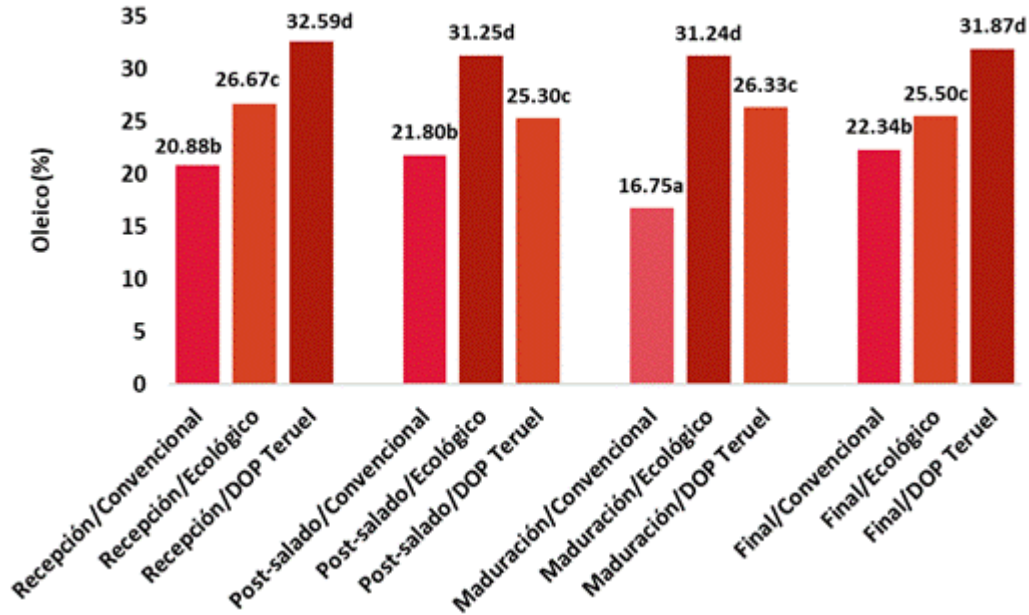


Figura 51. Ácido graso oleico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

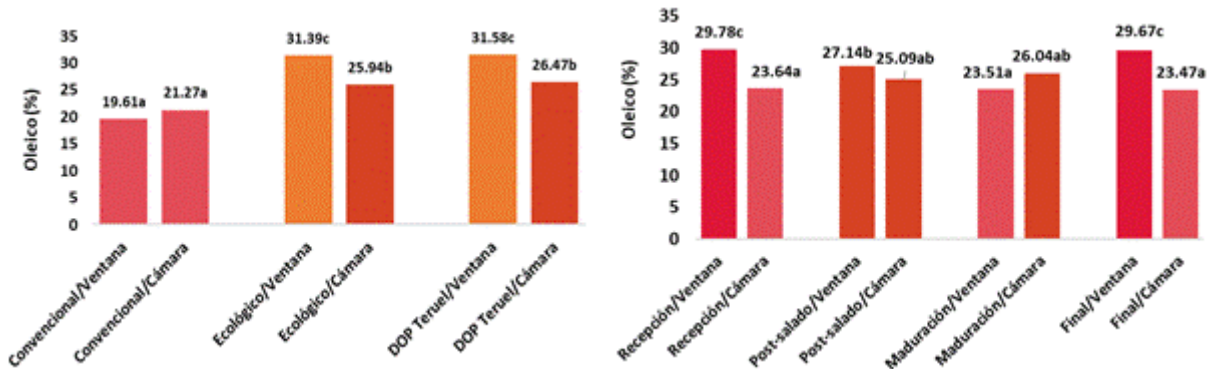


Figura 52. Ácido graso oleico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha). Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

El total de los ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) sigue una tendencia similar al ácido oleico, al tratarse del ácido graso monoinsaturado que más influye en el total de estos ácidos grasos, resultados

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

que coinciden con lo aportado en bibliografía (Lorenzo y Franco, 2012), aunque los valores no coinciden respecto al porcentaje total, encontrándose valores inferiores. Las concentraciones de estos ácidos grasos varían desde 25.99% a 30.48%, respecto al total. A excepción del momento de madurado, el resto de factores estudiados presenta diferencias estadísticamente significativas para el total de ácidos grasos monoinsaturados.

En función de la procedencia, la convencional es la que muestra los valores más bajos con diferencias estadísticamente significativas frente a las otras dos procedencias, mientras que los ácidos grasos monoinsaturados no difieren entre la procedencia ecológica y la DOP Teruel. El jamón DOP Teruel es el que presenta el mayor contenido de ácido oleico, y el resto de ácidos grasos monoinsaturados se concentran en mayor medida en el jamón de procedencia ecológica, ya que los cerdos criados en extensivo con alimentación natural acumulan mayores niveles de AGMI, así como de ácido linolénico (Pérez-Palacios *et al.*, 2008). El momento del proceso de secado-maduración genera las mayores concentraciones, en el total de ácidos grasos monoinsaturados, en los momentos de la recepción y el final del proceso, aunque las diferencias no difieren estadísticamente. Por último, cuando los jamones se secan bajo condiciones de ventana abierta, las concentraciones en ácidos grasos monoinsaturados son significativamente superiores.

Las interacciones entre las diferentes variables para la concentración en el total de ácidos grasos monoinsaturados son significativas, así la procedencia interfiere significativamente con el momento del secado, sobre todo en los momentos de la recepción y del final, donde las concentraciones en el total de los ácidos grasos monoinsaturados son más altas en la grasa de los jamones de la DOP Teruel, seguidos de los jamones ecológicos, mientras que los jamones convencionales muestran las menores concentraciones, para los cuatro momentos muestreados, tal y como ocurre para el ácido graso oleico, en estos momentos del proceso.

El total de ácidos grasos monoinsaturados muestran mayores concentraciones significativas, cuando se secan los jamones en condiciones de ventana abierta, aunque el momento de secado y la procedencia interfieren con el sistema de secado en la concentración de esta fracción de los ácidos grasos. Así, esta tendencia se mantiene para las procedencias ecológicas y DOP Teruel del jamón, pero cuando la procedencia es convencional con el sistema de ventana abierta se producen menores

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

concentraciones de ácidos grasos monoinsaturados. Para todos los momentos del proceso de secado-maduración se mantiene la tendencia de mayor concentración de ácidos grasos monoinsaturados cuando el sistema de secado es con ventana abierta, menos en el momento de maduración, donde el secado en condiciones controladas de cámara genera las mayores concentraciones de ácidos grasos monoinsaturados, tal y como ocurre para el ácido graso oleico.

La tabla 25 muestra los resultados del análisis de la varianza multifactorial para el contenido individual en ácidos grasos poliinsaturados y para los tres ácidos grasos de este grupo que han mostrado señal, en función del momento del proceso de secado, de la procedencia y sistema productivo y del tipo de secado. Además, se muestra el error estándar para cada uno de los resultados. En negrita aparecen los valores que presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Tabla 25. Resultados promedio y error estándar del contenido en ácidos grasos poliinsaturados* (%) en función del sistema productivo y la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado.

Factores	Variables	C18:2	C20:4	C18:3	AGPI
Producción	Convencional	0.45±0.02	0.39±0.01	0.14±0.01	0.978±0.030
	Ecológico	0.60±0.03	0.37±0.01	0.23±0.01	1.212±0.042
Procedencia	Convencional	0.39±0.03	0.39±0.01	0.12±0.01	0.903±0.041
	Ecológico	0.60±0.03	0.37±0.01	0.23±0.01	1.212±0.041
	DOP Teruel	0.51±0.03	0.38±0.01	0.16±0.01	1.053±0.041
Momento de curado	Recepción	0.58±0.03	0.42±0.02	0.24±0.02	1.236±0.047
	Post-salado	0.29±0.03	0.38±0.02	0.09±0.02	0.763±0.047
	Maduración	0.74±0.03	0.36±0.02	0.29±0.02	1.384±0.047
Sistema de secado	Final	0.39±0.03	0.37±0.02	0.08±0.02	0.840±0.048
	Natural	0.50±0.02	0.36±0.01	0.17±0.01	1.029±0.033
	Cámara	0.50±0.02	0.40±0.01	0.18±0.01	1.082±0.034

*C18:2 (ácido graso linoleico- ω 6), C20:4 (ácido graso araquidónico- ω 6), C18:3 (ácido graso linolénico- ω 3), AGPI (total de ácido grasos poliinsaturados).

En general, las concentraciones en ácidos grasos poliinsaturados, tanto de los individuales, como del total, son muy bajas, variando las concentraciones totales entre 0.763% y 1.384%. Para los ácidos grasos linoleico y linolénico, así como para el total de los ácidos grasos poliinsaturados, son significativos todos los factores, menos el sistema de secado, mientras que, para el ácido graso araquidónico, solo el sistema de secado, muestra diferencias estadísticamente significativas, para sus concentraciones.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La procedencia ecológica genera mayor concentración de ácidos grasos poliinsaturados, seguido de la procedencia DOP Teruel y por último para los jamones de procedencia convencional. De los cuatro momentos muestreados, en la maduración es donde mayor concentración de estos ácidos se produce, seguido del momento de recepción de la materia prima, del momento final y para los jamones en el post-salado es donde menor concentración de estos ácidos grasos se concentran, coincidente con lo publicado por Larrea (2003). Los incrementos durante la fase de maduración, podrían ser debidos a la mayor generación de ácidos grasos libres que se da en esta etapa. Durante los cinco primeros meses del proceso, los ácidos grasos libres proceden principalmente de los triglicéridos y posteriormente de los fofolípidos y de los mono y diglicéridos (Antequera *et al.*, 1993), el momento de maduración da lugar a gran cantidad de ácidos grasos libres que sufren procesos de oxidación (Ventanas *et al.*, 1997), por su baja estabilidad lo que hace que disminuyan favoreciendo la producción de compuestos volátiles responsables del aroma y flavor. En general, en la fase de maduración aumentan los valores de los ácidos grasos gracias a la activación de enzimas por el aumento de temperatura.

El sistema de secado, en general muestra que las mayores concentraciones de ácidos grasos poliinsaturados se generan cuando los jamones se secan en condiciones controladas de cámara.

Además, las interacciones entre los diferentes factores estudiados muestran diferencias estadísticamente significativas. La figura 53 ilustra las concentraciones en el total de los ácidos grasos poliinsaturados, en la interacción entre la procedencia y el momento del proceso de secado-curado. Se observan diferencias estadísticamente significativas, ya que la tendencia global de la concentración en ácidos grasos poliinsaturados se modifica en función del momento del proceso. Así en la recepción y en el momento final se observa que las mayores concentraciones del total de estos ácidos grasos son para la procedencia ecológica, seguido de la procedencia convencional y por último de la presencia de estos ácidos grasos en la grasa de los jamones de la DOP Teruel. Mientras que en los momentos de post-salado y en la maduración, las mayores concentraciones de AGPI son para los jamones de la DOP Teruel, seguidos de la procedencia ecológica y por último la grasa de los jamones convencionales es la que muestra las concentraciones estadísticamente más bajas de AGPI, en estos dos momentos.

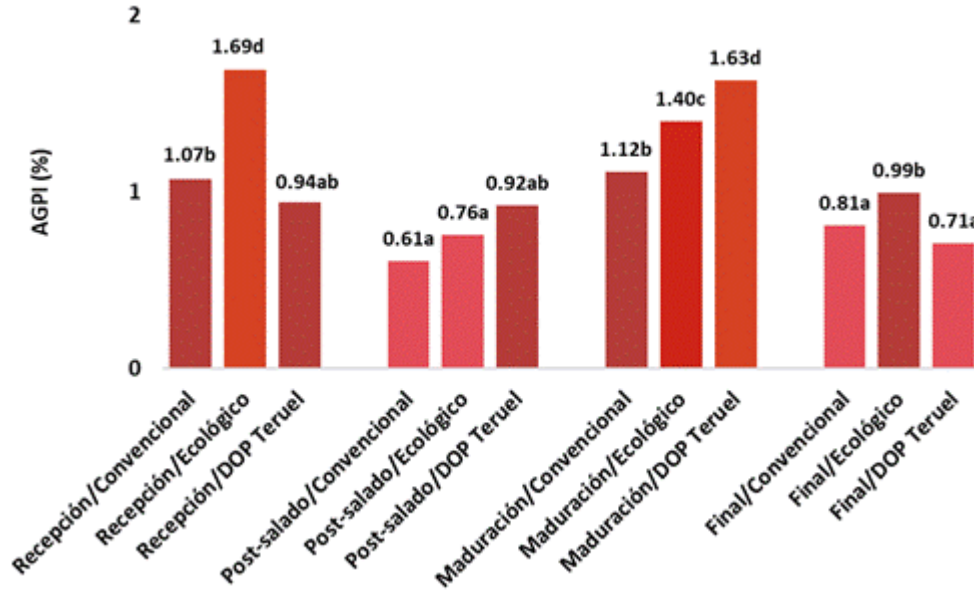


Figura 53. Ácidos grasos poliinsaturados (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

Las interacciones entre el sistema de secado y la procedencia y el sistema de secado y el momento del proceso de secado-curado para el contenido total de ácidos grasos poliinsaturados presenta diferencias estadísticamente significativas (figura 54).

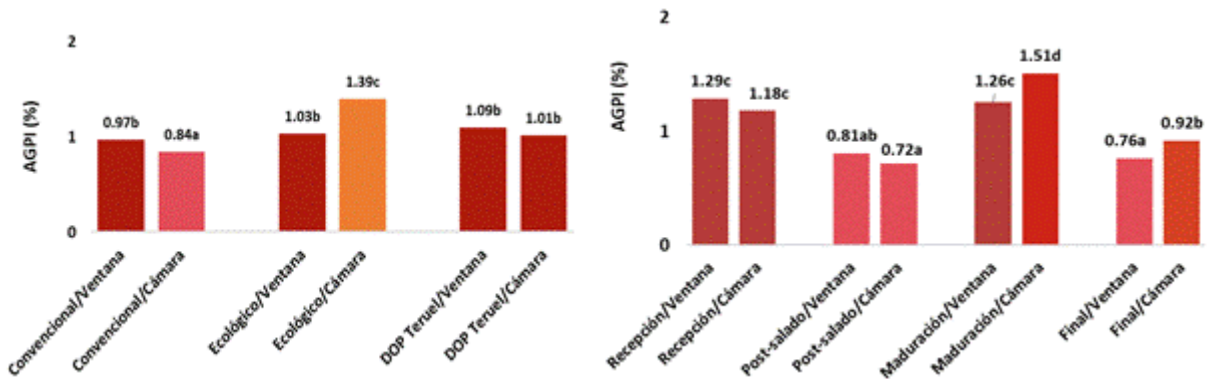


Figura 54. Ácidos grasos poliinsaturados (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha). Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuando la procedencia de la carne es ecológica, se mantiene la tendencia de la mayor concentración de AGPI cuando el sistema de secado es bajo condiciones controladas de cámara, pero para el resto de las procedencias, la mayor concentración de estos ácidos grasos se genera bajo el sistema de ventana abierta. La mayor concentración de AGPI, cuando el sistema de secado es bajo cámara, se alcanza en los momentos de maduración y en el momento final del proceso de secado, mientras que en la recepción y en el post-salado las mayores concentraciones de AGPI de la grasa de los jamones son para el secado bajo ventana abierta.

El estudio de las fracciones de ácidos grasos se visualiza de forma global contemplando el conjunto de las tres fracciones. La figura 55 muestra la distribución porcentual promedio de las fracciones de los ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados de la grasa del jamón para las tres procedencias y bajo los dos sistemas de secado (ventana abierta y cámara), en el momento de la recepción de la carne y en el momento final, transcurridos los 18.5 meses del secado-curación del jamón. Para las tres procedencias la fracción de ácidos grasos más importante es la de los saturados, aunque la grasa de los jamones de la DOP Teruel, en todos los casos se caracteriza por una menor fracción de estos ácidos grasos, tanto en el momento inicial con la materia prima, como al final del proceso de secado-curación. Siendo también bajos los valores de estos ácidos grasos en las piezas de procedencia ecológica, destinadas al secado con ventana abierta.

En general se observa que la fracción de ácidos grasos saturados aumenta al final del proceso de secado del jamón, con respecto a los valores iniciales de estos ácidos grasos, excepto para el caso de los jamones de procedencia convencional y secado en cámara, donde al final del proceso de secado-curación del jamón, los ácidos grasos saturados disminuyen. Estas variaciones se producen con modificación de los ácidos grasos mono y poliinsaturados que configuran cada fracción.

La tabla 26 muestra las variaciones para cada una de las fracciones evaluadas en la figura 58, y el incremento porcentual sufrido en cada grupo, respecto al final del proceso, frente a las concentraciones existentes en el momento de la recepción. Se observa que los ácidos grasos poliinsaturados son los que más sufren en el proceso de secado-curación del jamón, disminuyendo aproximadamente un 40% para los jamones de procedencia convencional, del 53 al 66% en los jamones de producción ecológica y del

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

54 al 73% en los jamones de la DOP Teruel, siendo el sistema de secado natural con ventana abierta, donde se producen las mayores pérdidas de estos ácidos grasos poliinsaturados.

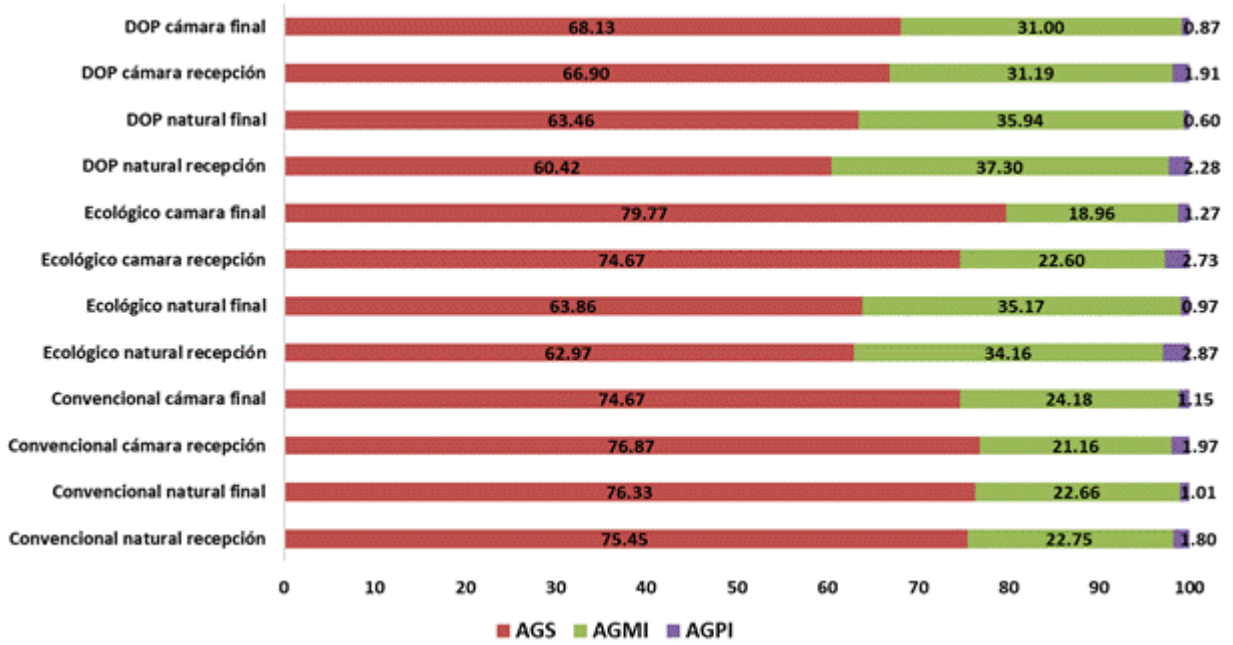


Figura 55. Distribución porcentual de las fracciones de los ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados de la grasa para el momento de la recepción y del jamón final para las tres procedencias.

Tabla 26. Valores promedio del contenido en ácidos grasos saturados, mono y poliinsaturados (%) en función de la procedencia y del sistema de secado, en el momento de la recepción, en el momento final e incremento (%).

Procedencia	Secado	Recepción			Final			Incremento (%)		
		AGS	AGMI	AGPI	AGS	AGMI	AGPI	AGS	AGMI	AGPI
Convencional	Natural	75.45	22.75	1.80	76.33	22.66	1.01	+1.16	-0.40	-43.60
	Cámara	76.87	21.16	1.97	74.67	24.18	1.15	-2.87	+14.29	-41.48
Ecológico	Natural	62.97	34.16	2.87	63.86	35.17	0.97	+1.41	+2.96	-66.32
	Cámara	74.67	22.60	2.73	79.77	18.96	1.27	+6.82	-16.12	-53.31
DOP Teruel	Natural	60.42	37.30	2.28	63.46	35.94	0.60	+5.02	-3.64	-73.60
	Cámara	66.90	31.19	1.91	68.13	31.00	0.87	+1.84	-0.62	-54.26

Los ácidos grasos saturados en general se incrementan durante el proceso de curado-secado del jamón, siendo los jamones de procedencia ecológica con secado en condiciones controladas de cámara, donde se producen los mayores incrementos de estos ácidos grasos, siendo la única disminución, para

los jamones de procedencia convencional y secados en cámara, que pierde un 2.87% de ácidos grasos saturados. Los ácidos grasos monoinsaturados evolucionan de forma arbitraria, con detrimentos cuando la procedencia de los jamones es DOP Teruel, mayores cuando el sistema de secado es con ventana abierta (-3.64%), detrimentos más marcados que se generan con el sistema de secado en cámara, de los jamones de procedencia ecológica (-16.12%), mientras que por este sistema de secado en los jamones convencionales se produce un incremento del 14.92% de los ácidos grasos monoinsaturados.

4.1.5. Evaluación de los índices de calidad de la grasa

Además del estudio individualizado de los ácidos grasos presentes en el jamón, el análisis de diferentes relaciones entre los mismos va a proporcionar información sobre la calidad de la grasa presente en los diferentes tipos de jamón.

La relación de ácidos grasos saturados y poliinsaturados presenta una controversia para el caso del jamón, ya que los valores deseables para un adecuado proceso, desde el punto de vista tecnológico, hace que la grasa sea menos adecuada para la nutrición y la salud humana, por estar asociados con un mayor riesgo de enfermedad cardiovascular (Ulbricht y Southgate, 1991).

A la hora de evaluar lo saludable que es una dieta, uno de los elementos que se puede tener en cuenta es el perfil de ácidos grasos que contiene el alimento, ya que una proporción inadecuada entre AGS, AGMI y AGPI puede derivar en enfermedad cardiovascular o diabetes tipo 2. Así la elevada ingesta de AGS se considera perjudicial, mientras que dietas ricas en AGMI y AGPI reducen el riesgo de este tipo de enfermedades (Gil *et al.*, 2015). La prevalencia de enfermedades cardiovasculares aumenta con la edad y depende de factores genéticos y ambientales (Irurita *et al.*, 2007), pero recientemente se está cuestionando que sean las grasas saturadas las responsables de la aparición de estas enfermedades, no habiéndose determinado resultados estadísticamente significativos que establezcan una relación directa con el consumo de grasa saturadas (Harcombe *et al.*, 2017), incluso en algunos estudios se ha visto que su ingesta puede llegar a reducir la presencia de colesterol “malo” (LDL) y ácidos grasos como el esteárico podría contribuir al aumento de colesterol “bueno” (HDL), evitando así la formación de placas ateromatosas (Arias-Rico *et al.*, 2018). Sin embargo, hay estudios como el de Milanski *et al.* (2009) que evidencian que el mayor consumo de ácidos grasos saturados deriva en una activación de un marcador específico (TLR4) que afecta a la función hipotalámica dando lugar a problemas de obesidad.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se recomienda una ingesta en torno al 35% de grasas en la dieta y no se ha podido establecer la dosis máxima de grasas saturadas a partir de la cual se relaciona la ingesta con problemas de salud. Así se ha visto que dietas moderadas de en ácidos grasos puede dar lugar a una reducción del peso, al aumentar las calorías que se ingieren con un único alimento, por el contrario, dietas elevadas pueden aumentar el riesgo de diabetes al reducir la sensibilidad a la insulina y de enfermedad cardiovascular, por lo que se recomienda un consumo reducido (EFSA, 2010).

Para el jamón, en el caso de los cerdos ibéricos criados en dehesa, se han observado altos niveles de ácidos grasos monoinsaturados (particularmente ácido oleico) como consecuencia directa del alto contenido de ácido oleico de las bellotas (Ruiz-Carrascal *et al.*, 2000). En comparación con el jamón curado de razas modernas de cerdos criados convencionalmente, el jamón curado de cerdo ibérico también presentaba niveles más bajos de AGS y AGPI (Jiménez-Colmenero *et al.*, 2010). También existe una tendencia a mejorar la salubridad de los productos porcinos reduciendo la relación de AGPI $\omega 6/\omega 3$ (Simopoulos, 2004) proporcionando a los animales, dietas con grasas ricas en ácidos grasos $\omega 3$ (Hoz *et al.*, 2007). Debido a su susceptibilidad a la oxidación, un aumento en la concentración de AGPI puede tener efectos perjudiciales sobre la calidad tecnológica y sensorial de los productos cárnicos (Warnants *et al.*, 1998).

La mayor concentración de ácidos grasos en el jamón está principalmente relacionada con la alimentación de los animales y la movilidad de los mismos. Además, la estrategia de alimentación puede afectar el crecimiento del tejido adiposo. Así, una alimentación restringida reduce la adiposidad corporal y el contenido de AGMI (Skiba, 2010) y se ha demostrado que una dieta alta en proteínas reduce la relación en AGMI (Essén-Gustavsson *et al.*, 1994), mientras que una dieta baja en proteínas/alta en energía o una dieta moderadamente reducida en energía y proteínas (Tang *et al.*, 2010) ha demostrado aumentar el contenido de AGMI. Por otro lado, la estrategia alimentaria no sólo es importante por la cantidad y calidad de las grasas, sino que también puede ser importante para la actividad proteolítica.

Entre los índices de calidad de los ácidos grasos se ha estudiado, el índice de aterogenicidad (IA) que sirve para detectar el potencial de las grasas de un alimento para producir ateromas en el endotelio de los vasos sanguíneos, el índice trombogénico (IT) que se presenta como marcador de trombosis o embolia que puede producir, el ratio $\omega 6/\omega 3$, el contenido de ácidos grasos beneficiosos para la salud

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

(AGBS) (Osmari *et al.*, 2011), que se calcula como $AGBS = \Sigma AGMI + \Sigma AGPI + \text{esteárico}$, la relación entre $AGPI/AGS$ y la relación entre el ácido graso linoleico y el linolénico.

La tabla 27 muestra los resultados del análisis de la varianza multifactorial para los índices de calidad de los ácidos grasos, en función del momento del proceso de secado, de la procedencia y sistema productivo y del tipo de secado. Además, se muestra el error estándar para cada uno de los resultados. En negrita aparecen los valores que presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Tabla 27. Resultados promedio y error estándar de los índices de calidad de los ácidos grasos en función del sistema productivo y la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado.

Factores	Variables	IA	IT	$\omega 6/\omega 3$	AGBS	AGPI/AGS	Linoleico/Linolénico
Producción	Convencional	4.63±0.08	6.10±0.17	14.93±0.97	53.15±0.32	0.014±0.001	5.16±0.23
	Ecológico	4.03±0.11	4.75±0.24	10.51±1.39	55.39±0.46	0.018±0.001	5.22±0.33
Procedencia	Convencional	5.39±0.09	7.52±0.21	13.35±1.37	50.67±0.41	0.012±0.001	4.63±0.32
	Ecológico	4.03±0.09	4.75±0.21	10.51±1.38	55.39±0.41	0.018±0.001	5.22±0.32
	DOP Teruel	3.87±0.09	4.68±0.21	16.42±1.36	55.64±0.41	0.016±0.001	5.69±0.32
Momento de curado	Recepción	4.18±0.11	4.96±0.25	12.06±1.57	54.68±0.48	0.018±0.001	3.91±0.37
	Post-salado	4.25±0.11	5.48±0.25	18.18±1.57	53.62±0.48	0.011±0.001	5.09±0.37
	Maduración	4.90±0.11	6.68±0.25	7.41±1.56	53.12±0.48	0.020±0.001	4.29±0.37
	Final	4.39±0.11	5.47±0.25	16.06±1.62	54.17±0.48	0.012±0.001	7.44±0.37
Sistema de secado	Natural	4.25±0.08	5.43±0.17	12.84±1.11	54.96±0.34	0.015±0.001	5.35±0.26
	Cámara	4.61±0.08	5.87±0.17	14±01±1.12	52.84±0.34	0.015±0.001	5.01±0.26

Se observa que el índice de aterogenicidad (IA) muestra diferencias estadísticas para todos los factores estudiados, que el índice trombogénico (IT), la relación $\omega 6/\omega 3$ y el ratio entre los ácidos grasos poliinsaturados frente a los saturados (AGPI/AGS) muestra diferencias estadísticas en todos los factores menos, en el sistema de secado, que el índice de ácidos grasos beneficiosos para la salud (AGBS) muestra diferencias frente a la producción, la procedencia y el sistema de secado, mientras que la relación entre el ácido graso linoleico y el linolénico, sólo muestra diferencias significativas en el estudio del momento del curado del jamón. Además, las interacciones entre los diferentes factores estudiados presentan diferencias significativas para los diferentes índices de calidad de la grasa estudiados.

El índice de aterogenicidad muestra diferencias significativas entre los valores que presentan los jamones de procedencia convencional, frente a los valores de las otras dos procedencias. La grasa de los jamones de la DOP Teruel muestra los valores más bajos del índice de aterogenicidad, aunque no difieren

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

significativamente de los valores que presenta la grasa de los jamones de procedencia ecológica, aunque la procedencia interfiere significativamente con el momento del secado (figura 56), donde se observa que en los momentos de post-salado y maduración se rompe la tendencia, siendo para estos momentos las diferencias significativas para las tres procedencias, dando los mayores valores para la grasa de los jamones de procedencia convencional, seguido de los valores para la procedencia DOP Teruel y por último de la procedencia ecológica. Es posible que, en estos momentos del proceso de secado, las transformaciones lipídicas del proceso tecnológico influyan en estos cambios del valor del índice.

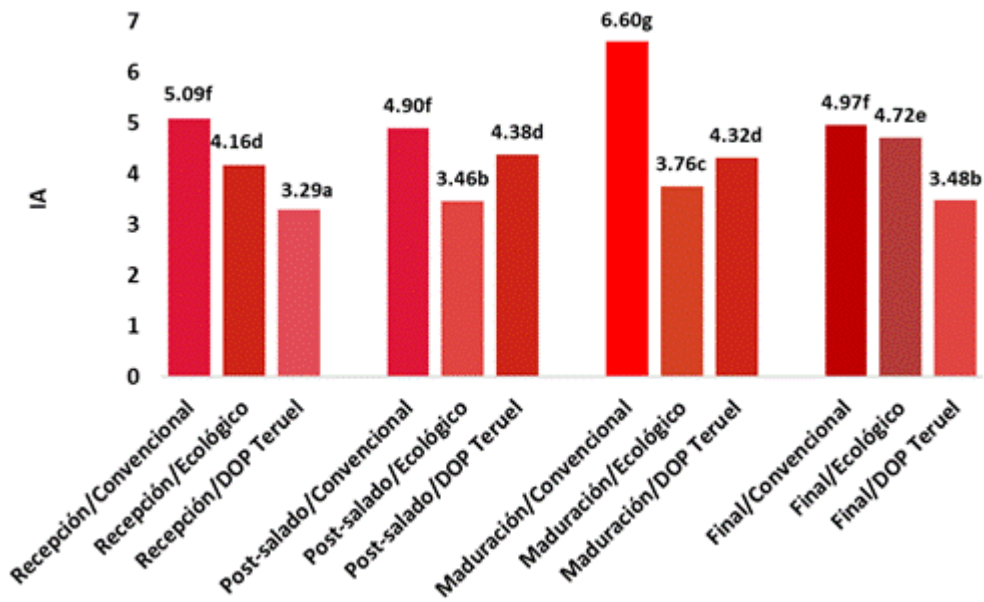


Figura 56. Índice de aterogenicidad (IA) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

Al secar los jamones con ventana abierta los valores del índice de aterogenicidad son estadísticamente inferiores, aunque el momento de secado y la procedencia interfieren con el sistema de secado en los valores de este índice en la grasa del jamón (figura 57). Así, esta tendencia se mantiene para las procedencias ecológicas y DOP Teruel del jamón, pero cuando la procedencia es convencional con el sistema de secado en condiciones controladas de cámara se producen los valores más bajos del índice de aterogenicidad en la grasa del jamón. Para todos los momentos del proceso de secado-maduración se mantiene la tendencia de mayor del índice de aterogenicidad en la grasa del jamón cuando el sistema de secado es en cámara, menos en el momento de maduración.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

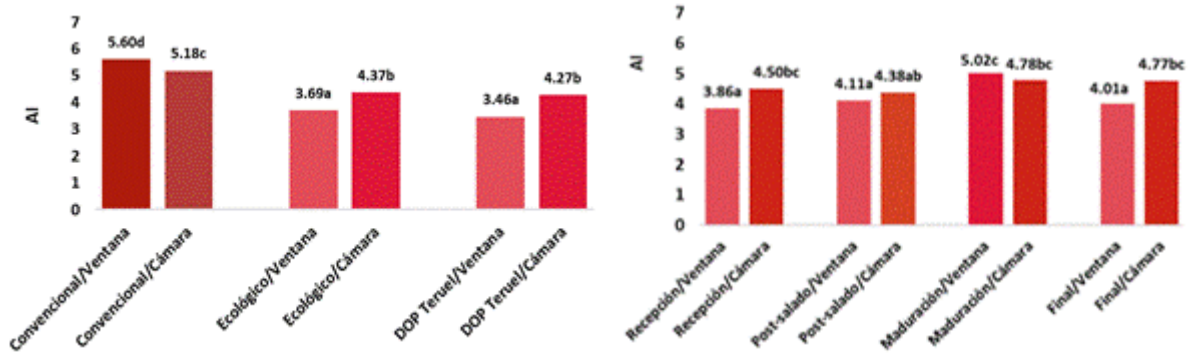


Figura 57. Índice de aterogenicidad en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha). Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

Los valores del índice de aterogenicidad varían en función del tipo de alimento e incluso dentro de un mismo alimento en función del proceso productivo. Así los valores para alimentos procedentes de la pesca (Senso *et al.*, 2007) son inferiores a la unidad, mientras que en la leche de vaca alcanza valores de entre 3 y 5, en función de la alimentación del ganado (Silva *et al.*, 2019). Lo Fiego *et al.* (2005) determinaron valores inferiores a la unidad el tejido subcutáneo adiposo y en la grasa intramuscular del jamón de Parma, cuando se alimentaban a los animales con suplementos de ácido linoleico conjugado. En general, los valores bajos del índice de aterogenicidad indican grasas más saludables. Los valores para el índice de aterogenicidad de la grasa intramuscular de lomo curado de cerdo ibérico da valores que oscilan entre 0.48 y 0.57 en función de la genética y la alimentación que recibe el animal, encontrando el menor valor para el cruce de Ibérico con Duroc, alimentado con un pienso con girasol alto oleico y α -tocoferol (Ventanas, 2006).

En general, la procedencia DOP Teruel genera los jamones con una grasa de menor valor del índice trombogénico, seguido de la procedencia ecológica y por último para los jamones de procedencia convencional. De los cuatro momentos muestreados, en la maduración es donde se alcanza los mayores valores de este índice de calidad de la grasa, seguido del momento de post-salado y del momento final, mientras que en la recepción de la materia prima, es donde se alcanzan los menores valores del índice trombogénico. Cuando los jamones son secados en cámara se alcanzan valores más bajos del índice trombogénico en la grasa, aunque las diferencias para este factor no son estadísticamente significativas al 95% de confianza.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 58 ilustra los valores del índice de trombogénico, en la interacción entre la procedencia y el momento del proceso de secado-curado. Se observan diferencias estadísticamente significativas, ya que la tendencia global del índice trombogénico en función de la procedencia se modifica cuando interacción con el momento del proceso.

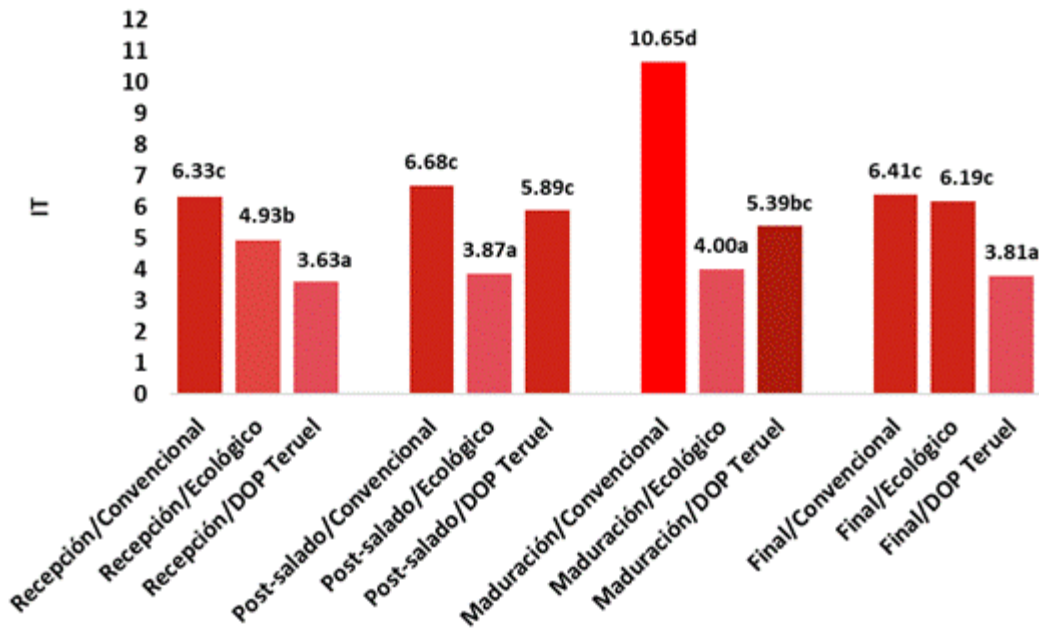


Figura 58. Índice trombogénico (IT) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

Así en la recepción y en el momento final se observa que los menores valores del índice trombogénico son para la procedencia DOP Teruel, seguido de la procedencia ecológica y el mayor más alto es para la procedencia convencional. Mientras que en los momentos de post-salado y en la maduración, los valores más bajos del índice trombogénico son para la grasa de los jamones de procedencia ecológica, seguidos de la procedencia DOP Teruel y por último la grasa de los jamones convencionales es la que muestra los valores estadísticamente más altos de índice trombogénico, en estos dos momentos.

Las interacciones entre el sistema de secado y la procedencia y entre el sistema de secado y el momento del proceso de secado-curado para el índice trombogénico presenta diferencias estadísticamente significativas (figura 59). Cuando la procedencia de la carne es ecológica y DOP Teruel,

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

se mantiene la tendencia de menor valor del índice trombogénico cuando el sistema de secado es al natural o con ventana abierta, pero para la procedencia convencional, el menor valor del índice trombogénico de la grasa se genera en el jamón bajo el sistema de ventana abierta. El menor valor del índice trombogénico cuando el sistema de secado es con ventana abierta, se alcanza en los momentos de la recepción y en el momento final del proceso de secado, mientras que en la maduración los valores más bajos se alcanzan en la grasa de los jamones secados en cámara y en el post-salado los valores del índice trombogénico son similares atendiendo al sistema de secado.

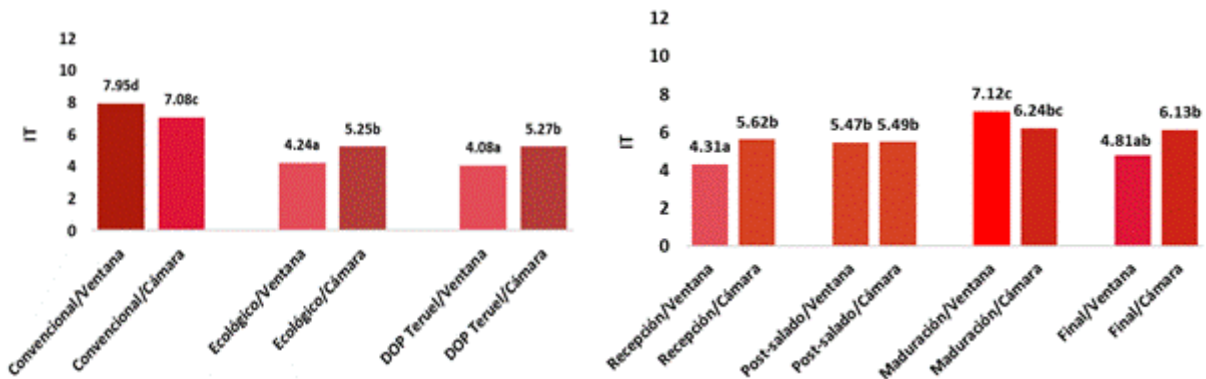


Figura 59. Índice trombogénico (IT) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha). Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

Al igual que ocurre con el índice de aterogenicidad, los valores bajos del índice trombogénico indican grasas más saludables. Los valores del índice trombogénico varían en función del tipo de alimento y también dentro de un mismo alimento en función del proceso productivo, e incluso si se trata de alimentos silvestres, el valor es más bajo que frente a los alimentos de producción. En la grasa del pescado los valores del índice trombogénico oscilan desde el 0.27 para el atún (*Thunnus Thynnus* L.) hasta valores de 1.21 en la grasa de la panga (*Pangasius hypophthalmus*) (Senso *et al.*, 2007; Orban *et al.*, 2008; Garaffo *et al.*, 2011), mientras que en la leche de vaca alcanza valores de entre 2 y 3, en función de la alimentación del ganado (Silva *et al.*, 2019) y en quesos los valores pueden variar de 2.81 a 3.10 (Reis Lima *et al.*, 2019). En el caso del jamón, Lo Fiego *et al.* (2005) determinaron valores de índice trombogénico que oscilan entre 1.09 a 1.47 en el tejido subcutáneo adiposo y en la grasa intramuscular del jamón de Parma, cuando se alimentaban a los animales con suplementos de ácido linoleico

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

conjugado. Ventanas (2006) encuentra valores para el índice trombogénico entre 4.04 y 5.23, siendo el menor valor para el cerdo ibérico cruzado con Duroc alimentado con un pienso regular.

El cuerpo humano puede sintetizar la gran mayoría de los ácidos grasos necesarios a partir de la glucosa y otras fuentes de carbono, hidrógeno y oxígeno, pero no tiene posibilidad de sintetizar los dobles enlaces en las posiciones de $\omega 3$ y $\omega 6$. Por ello, los ácidos grasos linoleico ($\omega 6$) y linolénico ($\omega 3$) son esenciales y se deben obtener a partir de la dieta, ya que el organismo no es capaz de generarlos endógenamente en las cantidades necesarias. A diferencia de los $\omega 3$, los $\omega 6$, están mucho más presentes en la ingesta, debido al tipo de alimentación actual, los ácidos grasos $\omega 6$ en exceso inhiben las propiedades de los $\omega 3$, por ello, la proporción de ácidos grasos esenciales $\omega 6$ y $\omega 3$ es un determinante importante para la salud.

Una alta proporción de $\omega 6/\omega 3$, como se encuentra en las dietas occidentales actuales, promueve la patogénesis de muchas enfermedades, incluidas las cardiovasculares, algún tipo de cáncer, la osteoporosis y las enfermedades inflamatorias y autoinmunes, mientras que los niveles elevados de ácidos grasos poliinsaturados $\omega 3$ ejercen efectos supresores. Se estima que la dieta occidental actual es deficiente en ácidos grasos $\omega 3$ con una proporción de $\omega 6$ a $\omega 3$ de 15-20. El ratio de ácidos grasos $\omega 6$ y $\omega 3$ en la dieta debería estar aproximadamente entre 1 y 4 (Simopoulos, 2002).

El sistema de producción ecológica proporciona los jamones con la relación $\omega 6/\omega 3$ de las grasas más bajo (10.51), con diferencias estadísticas frente a los valores de la relación $\omega 6/\omega 3$ presente en la grasa de los jamones de la DOP Teruel (16.42), mientras que los valores de la relación $\omega 6/\omega 3$ de la grasa de procedencia convencional presenta valores intermedios (13.35), entre las otras dos procedencias. El momento de secado también es significativo para los valores de la relación $\omega 6/\omega 3$, siendo los valores más bajos los que se alcanzan en la etapa de la maduración, y que para el momento final se incrementan, posiblemente debido a la disminución que sufra el único $\omega 3$ detectado en la grasa del jamón, como consecuencia de la lipólisis en el proceso de curado. El sistema de secado natural genera grasas con menos relación $\omega 6/\omega 3$, frente al sistema de cámara, pero las diferencias no son significativas. La única interacción significativa que se produce en los valores de la relación $\omega 6/\omega 3$ para la grasa de los jamones estudiados es entre el sistema de secado y el momento del proceso (figura 60), donde se observa que la tendencia de menor valor de la relación $\omega 6/\omega 3$, cuando los jamones se secan en el sistema de ventana

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

abierta se invierte en los momentos de la maduración y del momento final, lo cual podría plantear estrategias de permanencia en cámara o para ventana abierta, para los jamones, en función de los objetivos a alcanzar.

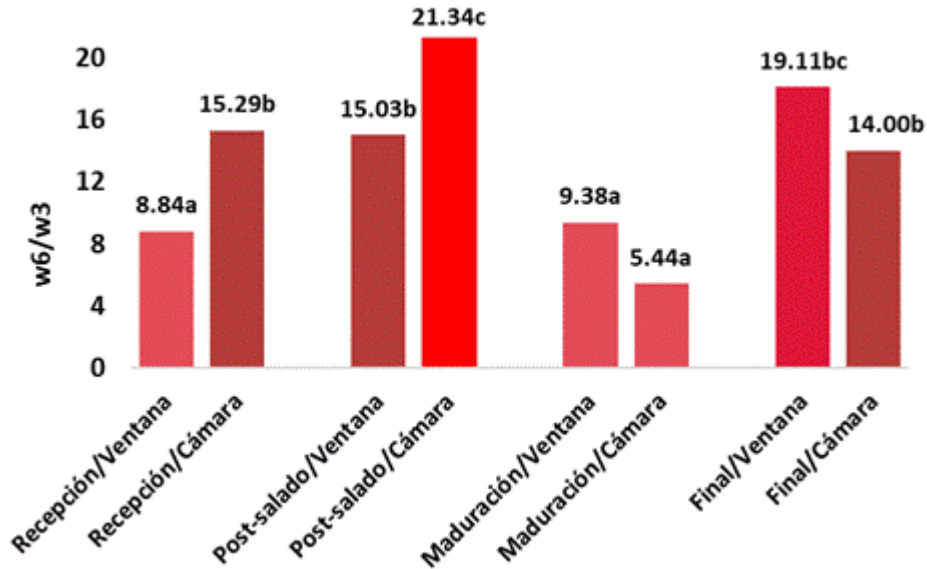


Figura 60. Relación ω_6/ω_3 en la grasa de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

A medida que han crecido las investigaciones sobre los lípidos, se han ido reconociendo sus beneficios y perjuicios para la salud. De acuerdo con Cutrignelli *et al.* (2008) se reconocen siete factores dietéticos implicados como importantes en el desarrollo de la enfermedad coronaria, dos son reconocidos como promotores de la enfermedad y los otros como protectores. La implicación de los ácidos grasos en el desarrollo de la enfermedad coronaria se puede resumir de la siguiente manera, el ácido esteárico (C18:0) no aumenta el colesterol sérico, los ácidos grasos saturados de cadena corta (C7:0-C11:0) no influyen en la concentración de colesterol en sangre, mientras que el ácido láurico (C12:0), el ácido mirístico (C14:0) y el ácido palmítico (C16:0) se reconocen como factores aterogénicos. Chilliard y Ferlay (2004) señalan que el ácido esteárico (C18:0) no está relacionado con un aumento del colesterol porque se metaboliza a ácido oleico (C18:1), nutricionalmente deseable, por ello al evaluar el contenido de ácidos grasos beneficiosos para la salud (AGBS) se contemplan el total de ácidos grasos monoinsaturados, poliinsaturados y el esteárico, de forma que los valores altos de este índice, proporciona mayor calidad a la grasa.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observa que la grasa de los jamones ecológicos y de la DOP Teruel proporciona valores significativamente superiores de ácidos grasos beneficiosos para la salud, frente a los de procedencia convencional. También se observa que el final del proceso de curado del jamón genera mayores valores de este índice de calidad de la grasa, aunque las diferencias no sean significativas. Mientras que el proceso de secado con ventana abierta proporciona jamones con una grasa con valores de ácidos grasos beneficiosos para la salud, significativamente superiores a los que se obtienen con el proceso de secado en cámara. Además, las interacciones entre todos los factores son estadísticamente significativas al 95% de confianza.

La figura 61 ilustra los valores del índice AGBS, en la interacción entre la procedencia y el momento del proceso de secado-curado. Se observan diferencias estadísticamente significativas, ya que la tendencia global en función de la procedencia (mayor valor para el jamón DOP Teruel, seguido de ecológico y convencional) se modifica cuando hay interacción con el momento del proceso. Así en la recepción y en el momento final se observa la marcada tendencia, mientras que en los momentos de post-salado y en la maduración, los valores más bajos del índice AGBS siguen siendo para la grasa de los jamones de procedencia convencional, pero los valores más altos del índice, en estos momentos intermedios del proceso de curación, se alcanzan para la grasa de los jamones de procedencia ecológica.

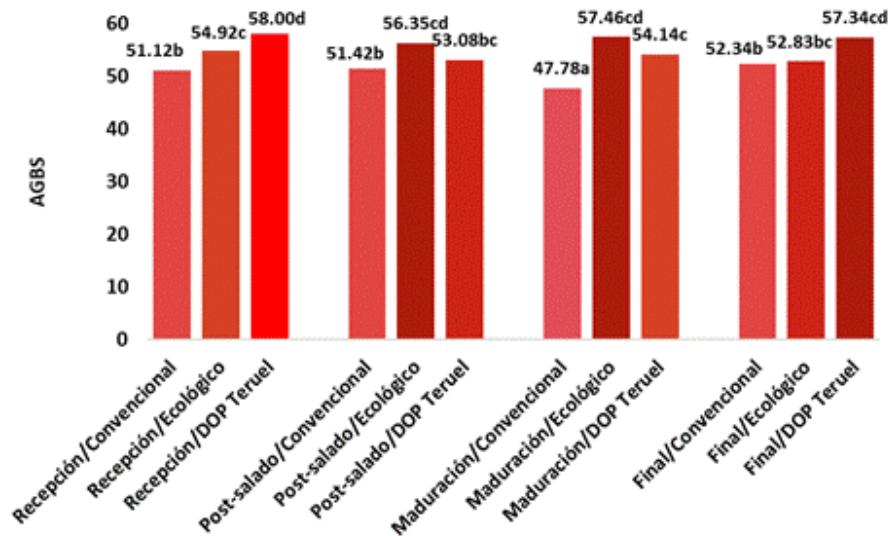


Figura 61. Índice de ácidos grasos beneficiosos para la salud (AGBS) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las interacciones entre el sistema de secado y la procedencia y entre el sistema de secado y el momento del proceso de secado-curado para el índice AGBS presenta diferencias estadísticamente significativas (figura 62). Cuando la procedencia de la carne es ecológica y DOP Teruel, se mantiene la tendencia de mayor valor del índice AGBS cuando el sistema de secado es al natural o con ventana abierta, pero para la procedencia convencional, el sistema de secado no influye en el valor del índice AGBS. El mayor valor del índice AGBS cuando el sistema de secado es con ventana abierta, se alcanza en los momentos de la recepción, post-salado y en el momento final del proceso de secado, mientras que en la maduración los valores ligeramente más altos se alcanzan en la grasa de los jamones secados en cámara.

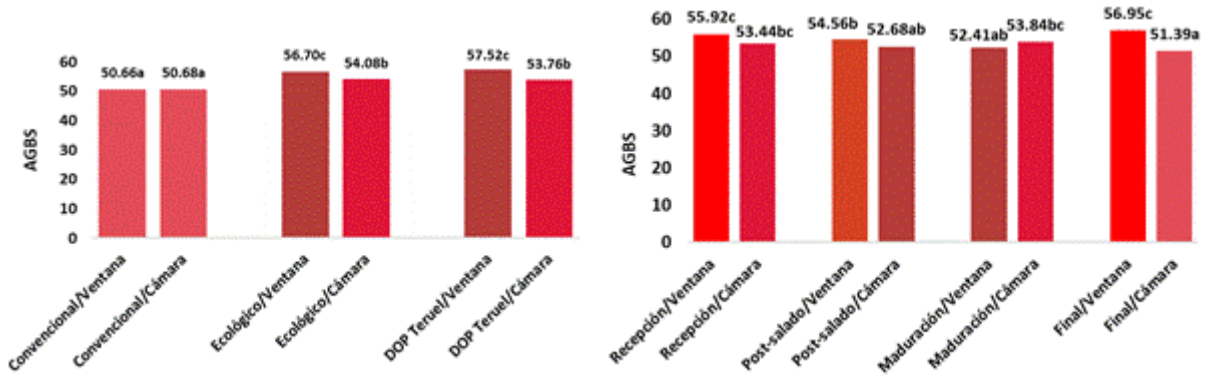


Figura 62. Índice de ácidos grasos beneficiosos para la salud (AGBS) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha). Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

El ratio AGPI/AGS es un índice que pone en valor la supremacía de los ácidos grasos poliinsaturados frente a los saturados. Los mayores valores de este índice, pone de manifiesto la mayor calidad de la grasa. En el caso del jamón, este ratio viene caracterizado por el alto contenido en ácidos grasos saturados que presenta su grasa. El nivel de significación de este índice de calidad es similar al observado para el índice trombogénico y el ratio $\omega 6/\omega 3$, es decir, los valores estadísticamente más altos se alcanzan para la grasa procedente de los jamones ecológicos, seguidos de los de la DOP Teruel y por último los de producción convencional, existiendo diferencias estadísticamente significativas, en la interacción entre la procedencia y el momento del proceso de secado-curado. De manera, que la tendencia global para este índice en función de la procedencia, se modifica en los momentos de post-salado y en la

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

maduración, donde los valores más altos del ratio AGPI/AGS son para la grasa de los jamones de procedencia DOP Teruel, seguidos de los de procedencia ecológica y por último la grasa de los jamones convencionales, que en todos los casos es la que muestra los valores estadísticamente más bajos de este índice de calidad de la grasa, en todos los momentos (figura 63).

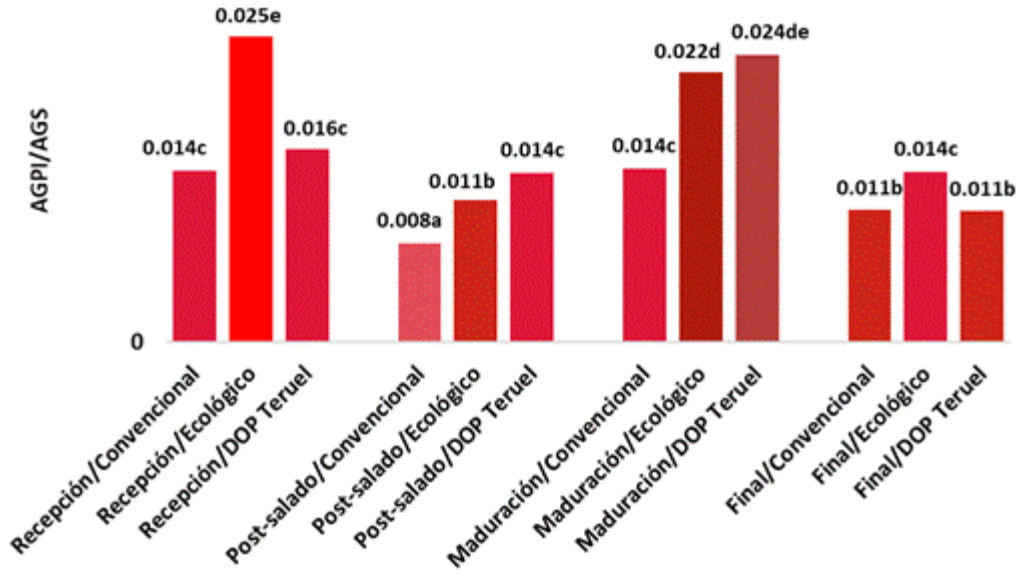


Figura 63. Relación AGPI/AGS en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

Las interacciones entre el sistema de secado y la procedencia y entre el sistema de secado y el momento del proceso de secado-curado para la relación AGPI/AGS presenta diferencias estadísticamente significativas (figura 64). Cuando la procedencia de la carne es convencional y DOP Teruel, se mantiene la tendencia de menor valor del índice para la relación AGPI/AGS, cuando el sistema de secado es al natural o con ventana abierta, pero para la procedencia ecológica, el mayor valor de este índice de calidad de la grasa se genera en el jamón bajo el sistema de condiciones controladas en cámara. El mayor valor del índice para la relación AGPI/AGS cuando el sistema de secado es con ventana abierta, se alcanza en los momentos de la recepción y en el momento post-salado, mientras que en la maduración y en el momento final, los valores más altos se alcanzan en la grasa de los jamones secados en cámara.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

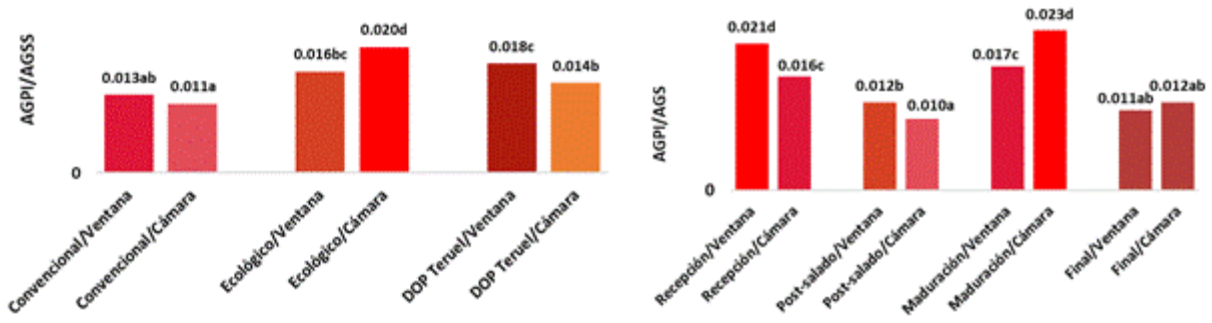


Figura 64. Relación AGPI/AGS en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha). Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

De los tres ácidos grasos poliinsaturados detectados en la grasa del jamón [linoleico C18:2 (ω 6), araquidónico C20:4 (ω 6) y linolénico C18:3 (ω 3)], el ácido graso linoleico es el mayoritario de la gama ω 6 y el linolénico, el único que se detecta de la gama de ω 3, por lo tanto, los ácidos grasos linoleico y linolénico representan a los ácidos grasos mayoritarios en sus respectivas familias químicas. Este ratio, comparado con el resto de parámetros de calidad de la grasa, aporta menos información, así los valores más bajos de este índice indican mayor proporción del ácido graso linolénico. Solamente el momento del proceso de secado-curación del jamón es significativo para este parámetro, de forma que este ratio aumenta progresivamente y de forma estadísticamente significativa, a medida que avanza el tiempo en el proceso de secado, seguramente relacionado con los procesos de lipólisis que ocurren durante la transformación de la carne.

En todos los casos, las interacciones entre los diferentes factores estudiados han mostrado diferencias estadísticamente significativas. La figura 65 muestra que la tendencia global observada en función de la procedencia, donde la grasa de los jamones de la DOP Teruel presenta los mayores valores de la relación linoleico/linolénico, seguidos de los de procedencia ecológica, frente a los valores de los jamones convencionales que presentan los menores valores, sólo se mantiene en el momento final del proceso, siendo en este momento donde se alcanzan los valores más altos, y con mayor incidencia en el valor del ratio obtenido. En el resto de los momentos muestreados se observan interacciones muy divergentes a la tendencia global entre la procedencia y el momento del proceso de secado-curado (figura 65).

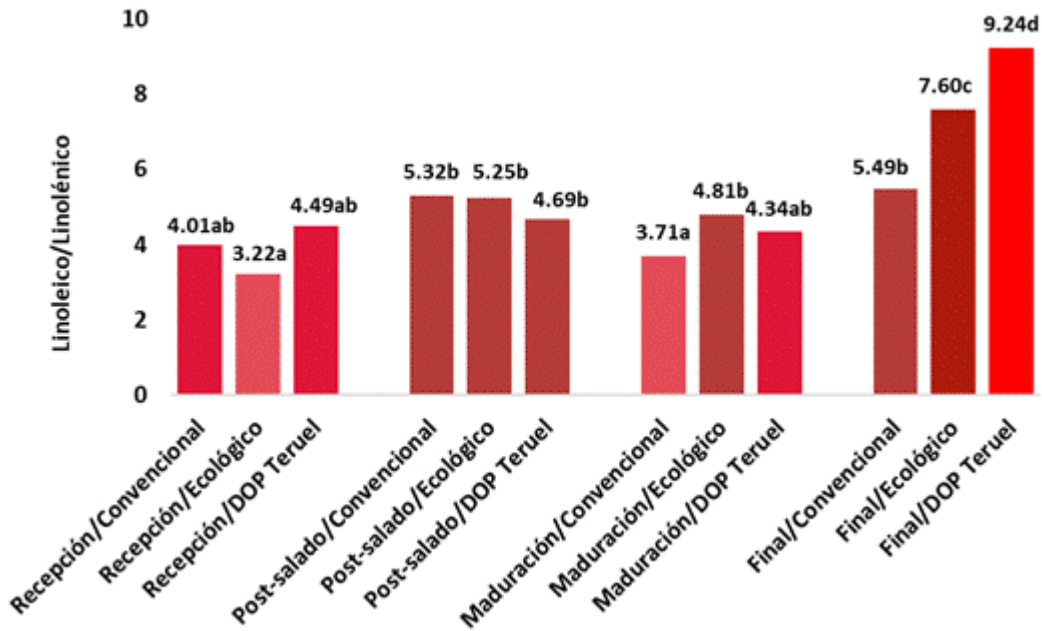


Figura 65. Relación linoleico/linolénico en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

Las interacciones entre el sistema de secado y la procedencia y entre el sistema de secado y el momento del proceso de secado-curado para la relación linoleico/linolénico presenta diferencias estadísticamente significativas (figura 66). Cuando la procedencia de la carne es ecológica, se mantiene la tendencia de mayor valor del índice para la relación linoleico/linolénico, cuando el sistema de secado es al natural o con ventana abierta, pero para la procedencia convencional, el mayor valor de este índice de calidad de la grasa se genera en el jamón bajo el sistema de condiciones controladas en cámara. Mientras que para la grasa del jamón de la DOP Teruel, este valor no se ve afectado por el sistema de secado. El mayor valor del índice para la relación linoleico/linolénico cuando el sistema de secado es con ventana abierta, se alcanza en todos los momentos, excepto en la recepción de la materia prima, debido a la variabilidad de las muestras.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

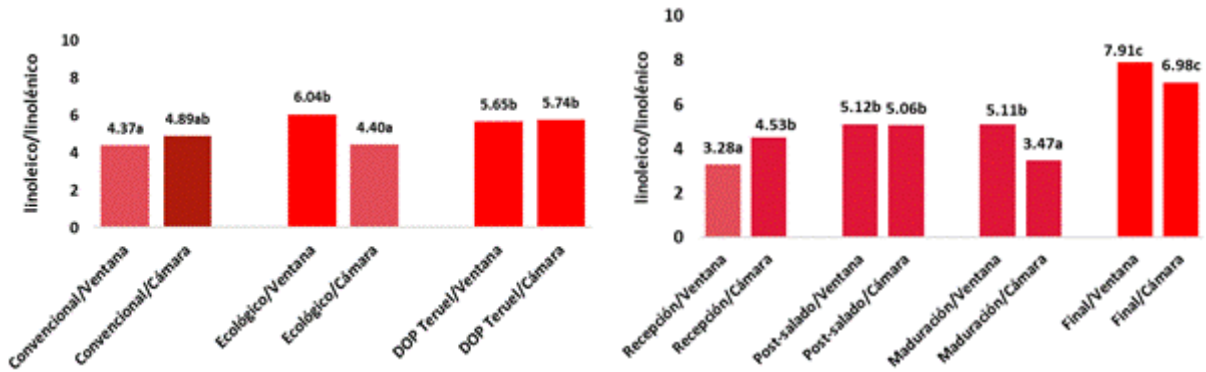


Figura 66. Relación linoleico/linolénico en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha). Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

4.1.6. Evaluación de presencia de antibióticos

El abuso en el empleo de sustancias antibióticas para usos no autorizados como promotores del crecimiento en animales y su uso indiscriminado en prevención de patologías en granja ha derivado en la aparición de resistencias a los mismos, lo cual dificulta que en condiciones de necesidad real puedan ser empleados. De esta situación es consciente el consumidor quien demanda, cada vez más, alimentos libres de sustancias químicas como puedan ser los antibióticos.

En el escudo de la profesión veterinaria aparece el lema “*Higia pecoris, salus populi*”, es decir, la higiene del ganado es la salud del pueblo, entendiendo por higiene todas las medidas adoptadas para garantizar el bienestar de los animales. Con este lema y con el concepto que se ha potenciado en los últimos años “*one health*”, se han establecido diferentes acciones para asegurar que esto sea así, entre ellas se encuentra la reducción en el uso de antibióticos en animales criados de forma convencional, donde el empleo de estas sustancias estaba siendo abusivo. Así se ha establecido desde 2014 en España el Plan Nacional de Resistencia a Antibióticos (PRAN), que engloba diferentes programas de reducción en sanidad animal y donde el sector porcino ha sido el primero en implementar medidas para la reducción del uso de colistina, lográndose importantes resultados gracias a la concienciación e interés mostrado por todas las partes implicadas. Según los últimos datos del PRAN la venta de antibióticos veterinarios en España se ha reducido en un 58.8% en los 5 primeros años del plan. Se estima que de no adoptar este tipo de medidas en 35 años la resistencia a antibióticos supondría la primera causa de

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

muerte, por delante del cáncer (PRAN, 2020). Si bien esto hace alusión a los tratamientos en animales vivos, cabe destacar que en lo que se refiere al control de la presencia de antibióticos en la materia prima, la carne, se controla en los mataderos desde 1989, año en el que se publicó el Real Decreto 1262/1989, que aprobaba el Plan Nacional de Investigación de Residuos (PNIR) en los animales y carnes frescas, siendo actualmente de aplicación el Real Decreto 1749/1998 que establece medidas de control aplicables a determinadas sustancias y sus residuos en los animales vivos y sus productos, así como el Reglamento 470/2009 donde se fijan los límites de residuos de las sustancias farmacológicamente activas en los alimentos de origen animal y el Reglamento 37/2010 sobre las sustancias farmacológicamente activas y su clasificación.

El control se lleva a cabo en los mataderos de manera aleatoria siguiendo el plan dirigido que se establece desde el programa, pudiendo llevarse a cabo análisis de animales procedentes de una explotación por sospecha de tratamientos ilegales, a través del plan de sospechosos. En el caso de los animales criados de forma convencional el animal que se envía a matadero debe estar libre de sustancias farmacológicas y otros contaminantes contemplados en el PNIR o como mínimo, en algunos casos haber esperado el periodo de supresión o no excederse de los límites máximos fijados, es decir, la carne y productos cárnicos de los animales así criados podría contener residuos de alguna de las sustancias que se contemplan, pero nunca en límites superiores a lo que se considera que podría suponer un riesgo para la salud del consumidor. Si bien es cierto que la legislación no contempla todos los fármacos con los que un animal puede ser tratado, por lo que no se detectarían. En los animales criados en sistemas de producción ecológica, este vacío legal no supone un problema, ya que no está permitido el empleo de sustancias químicas, a no ser que esté debidamente justificado para el tratamiento del animal para evitar problemas de bienestar, en cuyo caso quedarían excluidos de la comercialización en ecológico.

Se analizaron las muestras correspondientes a la última tanda para determinar los posibles residuos de antibióticos, tanto los resultados para las muestras procedentes de jamón convencional, como las de ecológico o las de la DOP Teruel dieron resultado negativo. En el caso del jamón de procedencia ecológica era lo esperado, al igual que en el resto, donde, de haber realizado algún tratamiento a los animales, se han respetado los periodos de supresión y el fármaco no ha sido encontrado en un límite superior a la sensibilidad de detección del método que es la exigida por la legislación.

4.1.7. Evaluación del contenido en nitratos y nitritos

La adición de nitratos en productos cárnicos comenzó en el siglo XIX, aunque no fue hasta 1891 cuando Polenske demostró la reducción del nitrato a nitrito. El uso de nitratos y nitritos en forma de sales de sodio o potasio en productos curados favorece el desarrollo y estabilidad del color gracias a las funciones que el nitrito lleva a cabo. Éste se reduce a óxido nítrico y reacciona con la mioglobina para dar nitrosilmioglobina (Toldrá *et al.*, 2009), también interviene en alcanzar un flavor a curado más intenso en el jamón (Cho y Bratzler, 1970; Wasserman y Talley 1972), ofrece funciones antioxidantes por la formación de ácido nítrico lo que controla la oxidación lipídica (Toldrá *et al.*, 2009) y además, inhibe el desarrollo de microorganismos patógenos como *C. botulinum* al unirse el nitrito al hierro (Grever y Ruiters, 2001). Actualmente existe una tendencia a los “alimentos sin” lo que ha llevado a la industria a tener que desarrollar estrategias de higiene muy rigurosas y a buscar alternativas para suplir las funciones de determinados aditivos químicos (Flores y Toldrá, 2020). En el caso de los productos ecológicos, carecen de ellos, por ser una condición propia de los productos elaborados bajo esta marca de calidad diferenciada. Así las funciones que cumplen estos aditivos quedan cubiertas ya que el color se desarrolla debido al complejo Zn-protoporfirina, el control microbiológico se logra gracias al propio proceso de elaboración del jamón que ofrece dos barreras naturales, una debido a la esterilidad del interior de la masa cárnica y otra por la baja a_w que presenta el producto final (<0.93) (Lorés *et al.*, 2012) y el desarrollo del flavor se consigue gracias al proceso de curado, no siendo apreciable la diferencia por parte de los consumidores con respecto a los productos que contienen aditivos. En los jamones a los que se les adicionan nitratos y/o nitritos no se forma el complejo Zn-protoporfirina ya que queda inhibido (Adamsen *et al.*, 2006).

El interés por la reducción o eliminación de nitratos y nitritos en productos curados como el jamón se debe a que estas sales pueden formar N-nitrosaminas, por reacción de nitrito con aminas secundaria, cuando existen altas temperaturas, el pH es muy ácido, no existen sustancias reductoras o el proceso de almacenamiento es prolongado (Lorés *et al.*, 2012). A lo largo del proceso de producción, la cantidad de nitrito va disminuyendo, pero el que permanece en el producto actúa como reservorio de óxido nítrico, pero también está disponible para la formación de nitrosaminas, aunque la presencia en jamón curado es muy baja (Ventanas *et al.*, 2004) y no depende de la adición de diferentes cantidades de nitrificantes (Calvarro y Ruiz, 2011).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de nitratos y nitritos se ha realizado exclusivamente en las muestras del momento final, es decir, cuando el jamón está curado y han transcurrido 18.5 meses desde la recepción de las muestras. La incorporación de las sales nítricas se realiza en la fase de salado, en el caso de la elaboración en ecológico, el salado se realiza con sal marina.

La tabla 28 muestra los resultados del análisis de la varianza multifactorial para el contenido en nitratos y nitritos (mg/100 g), en el momento final del proceso de secado, en función de la procedencia y sistema productivo y del tipo de secado. Además, se muestra el error estándar para cada uno de los resultados. En negrita aparecen los valores que presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Tabla 28. Resultados promedio y error estándar del contenido en nitratos y nitritos (mg/100 g) en el jamón en función del sistema productivo, la procedencia y del sistema de secado.

Factores	Variables	Nitritos	Nitratos
Producción	Convencional	0.303±0.035	177.25±10.91
	Ecológico	0.339±0.056	34.50±17.16
Procedencia	Convencional	0.429±0.049	259.19±11.07
	Ecológico	0.339±0.052	34.50±11.75
	DOP Teruel	0.199±0.045	108.97±10.11
Sistema de secado	Natural	0.270±0.041	117.66±9.17
	Cámara	0.375±0.039	150.78±8.79

Se observa que la concentración de nitratos en el jamón es estadísticamente significativa al 95% de confianza, para el sistema productivo, siendo las mayores concentraciones para la producción convencional (177 mg/100g), frente a los 34.50 que se detectan en los jamones de producción ecológica. Según la procedencia, el jamón con mayor contenido en nitratos es el de procedencia convencional (259.19 mg/100g), seguido de la DOP Teruel (108.97 mg/100g) y el ecológico (34.5 mg/100g), existiendo diferencias estadísticamente significativas, entre las concentraciones de los jamones de la DOP Teruel y ecológico, frente a las de presentes en los jamones de procedencia convencional.

En función del sistema de secado, la concentración de nitratos es mayor cuando los jamones son secados en cámara (150.78 mg/100 g) frente a los que son secados en ventana abierta (117.66 mg/100 g). Teniendo en cuenta que las cantidades añadidas en el inicio pueden ser de hasta los 250 mg/kg de

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

nitratos (Reglamento CE 1333/2008), se observa una disminución significativa, hasta los valores encontrados en el momento final (Larrea 2003).

Las concentraciones de nitratos encontradas en los jamones de producción ecológica pueden ser debidas principalmente a dos razones. Por un lado, a la propia concentración natural en la carne del animal debido a que los nitratos pueden estar presentes en algunas plantas que forman parte de la alimentación del ganado, concentración que se puede incrementar hasta 10 veces si el vegetal se consume deshidratado (Flores y Toldrá, 2020) o al agua de bebida también con niveles elevados de estas sustancias (Safa *et al.*, 2017; Flores y Toldrá, 2020), aunque sólo del 5-7% de los nitratos ingeridos se transforman a nitrito, el resto es eliminado por el organismo a través de la orina (Elika, 2020). En jamón San Danielle elaborado sin nitrificantes se han llegado a encontrar hasta 22 mg/kg de nitrato (Iacumin *et al.*, 2019), los niveles podrían llegar hasta los 30 mg/kg de nitratos en carne de cerdo, valores que a lo largo del proceso de curado van a disminuir en gran parte durante el post salado porque se irán con la salmuera y por otra parte al unirse con la mioglobina para dar nitrosilmioglobina una vez reducida a nitrito (Iacumin *et al.*, 2019). Por otro lado, también se pueden incluir con el proceso, ya que las sales empleadas en la producción ecológica, como las sales marinas, pueden tener presencia natural de este agente (Parthasarathy y Bryan, 2012) de forma natural puede aparecer hasta 8 mg/kg (Iacumin *et al.*, 2019). La aparición del color a curado en el jamón de Parma se ha llegado a relacionar con una contaminación con nitratos de las sales marinas (Adamsem *et al.*, 2006).

Con la concentración en nitritos se observa que el jamón convencional contiene 0.429 mg/100 g, el ecológico 0.339 mg/100 g y el jamón DOP Teruel (0.199 mg/100 g), siendo las diferencias estadísticamente significativas para la procedencia, mientras que para el resto de factores estudiados, no se encuentran diferencias.

La tendencia en la concentración en nitratos en el jamón, en función del sistema de secado no es significativa, manteniendo en todos los casos, que bajo el sistema de secado en ventana abierta se concentran menores cantidades de nitratos (figura 67 izquierda). La única interacción significativa producida se da para la concentración en nitritos, entre la procedencia y el sistema de secado (figura 67 derecha), de forma que la menor concentración de nitritos en el jamón bajo condiciones de ventana

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

abierta se invierte con la procedencia de DOP Teruel, obteniéndose menores concentraciones con los sistemas controlados de la cámara.

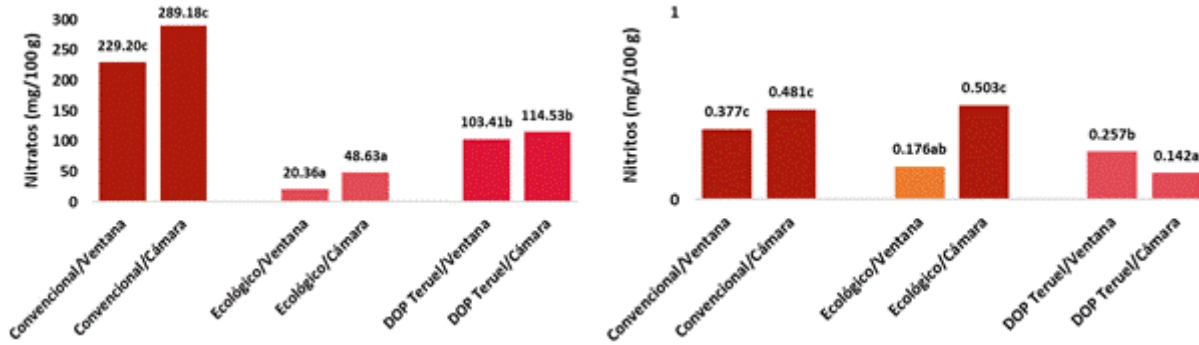


Figura 67. Nitratos (mg/100 g) en el jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y nitritos en el jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (derecha). Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

El sistema de secado en cámara genera los jamones con mayor concentración en nitratos y nitritos, siendo muy significativa la presencia de nitritos en jamones ecológicos secados en cámara (0.503 mg/100 g) con respecto a los valores que se obtienen en los jamones ecológicos secados al natural (0.176 mg/100 g), valores que pueden ser debidos a una mayor oxidación de nitritos a nitratos por la mayor presencia de oxígeno en este tipo de secado, ejerciendo, estos últimos, su función antioxidante (Honikel, 2008). Esta condición se invierte en el caso del jamón de la DOP siendo mayor el contenido en nitritos si se seca el producto en ventana.

En cualquier caso, al expresar los valores de nitritos en mg/kg, en ninguno casos se excede la dosis máxima residual de nitritos permitida (100 mg/kg) en jamones curados (Reglamento 647/2015). Los valores concuerdan con lo descrito en la bibliografía sobre la escasa presencia de este aditivo en jamón curado (Toldrá *et al.*, 2009; García Regueiro, 2018). El límite se ha establecido por la relación de este aditivo en la formación de nitrosaminas (Ventanas *et al.*, 2004).

La presencia de nitratos y nitritos en el producto final tiene consecuencias sobre aspectos como la carga microbiana, el color o la intensidad del aroma generado (Lorente *et al.*, 2011; Bou *et al.*, 2020) en gran parte gracias al poder antioxidante que presenta al secuestrar oxígeno de la carne cuando los nitratos son reducidos a nitritos (Honikel, 2008) influyendo en la oxidación lipídica y degradación de

aminoácidos (Shaidi y Pegg, 1995; Ventanas *et al.*, 2004; Parthasarathy y Bryan, 2012; Arnau *et al.*, 2013; Gallego *et al.*, 2018). Así, se ha visto que jamones con cantidades reducidas de agentes nitrificantes presentan aromas menos intensos, sobre todo cuando el jamón es de corta duración, ya que si es prolongado la diferencia se hace prácticamente inexistente (Arnau *et al.*, 2013), algo que es clave para los productos sin nitrificantes (Benedini *et al.*, 2012), ya que hace que el consumidor no sea capaz de percibir esa diferencia (Kemp *et al.*, 1974; Lorente *et al.*, 2011; Lorés *et al.*, 2012).

En cuanto al color, la intensidad es mayor en los productos con nitratos y nitritos, aunque tampoco es un factor que el consumidor identifique de forma clara (Lorés *et al.*, 2012). En los productos sin nitrificantes el color aumenta al hacerlo la temperatura de procesado, con un incremento del pigmento ZnPP, sobre todo a partir del noveno mes de curado (Parolari *et al.*, 2009). En relación a su función antimicrobiana, el hecho de no emplear sales nítricas, no hace que el jamón curado sea menos inocuo (Benedini *et al.*, 2012).

4.1.8. Evaluación de los componentes volátiles

El aroma típico del jamón está relacionado con la composición de la fracción lipídica intramuscular que dependerá en gran parte de la alimentación del cerdo (Melgar *et al.*, 1991), los procesos de lipólisis, que dan lugar a los primeros aromas que se perciben (Toldrá y Flores, 1998), la oxidación de los lípidos durante el proceso de secado-curación (figura 68) y la degradación de aminoácidos (figura 68), además de reacciones secundarias tipo Strecker o Maillard que se da en las fases finales de maduración (Ventanas *et al.*, 1992; Ruiz *et al.*, 1999). A través de las reacciones de oxidación y de Maillard (entre productos de la oxidación lipídica y compuestos nitrogenados) se obtienen los compuestos aromáticos procedentes de aminoácidos, péptidos, ácidos grasos y sobre todo fosfolípidos (Ruiz *et al.*, 2002).

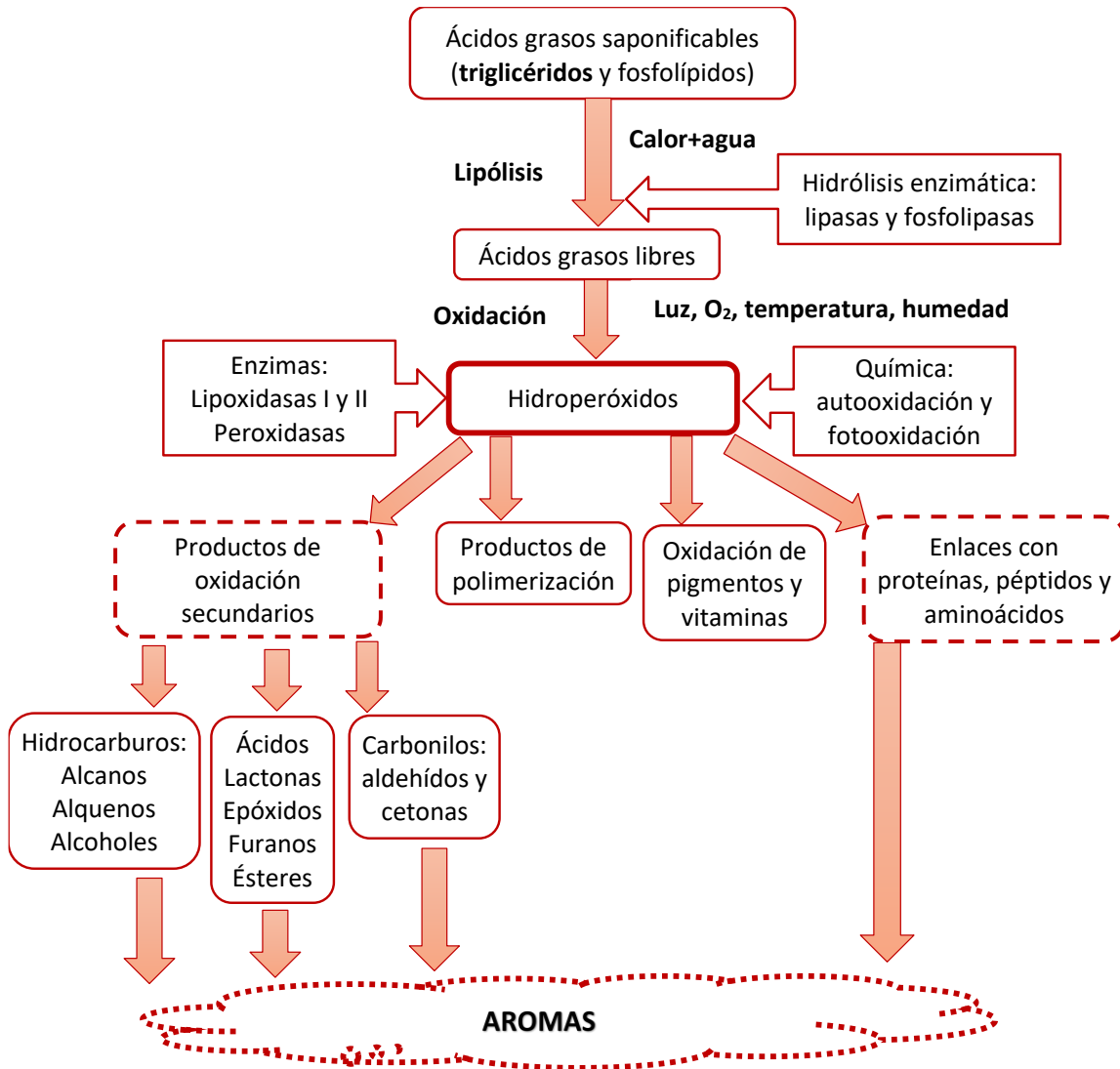


Figura 68. Generación de aromas a partir de alteraciones y degradación lipídica.

Aunque la oxidación de los lípidos durante el proceso de secado-curación generalmente puede producir sabores a rancio, los jamones curados en seco son una notable excepción, porque los productos de la oxidación desempeñan un papel crucial en la calidad sensorial del producto final (Flores *et al.*, 1997). Los grupos funcionales más abundantes relacionados con los componentes volátiles en el proceso de secado-curación en el jamón son los de la familia de los hidrocarburos alifáticos, seguido de cetonas, alcoholes y aldehídos (Berdagué *et al.*, 1991; Pérez-Juan *et al.*, 2006) y en fases iniciales los del grupo carbonilo (García *et al.*, 1991).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

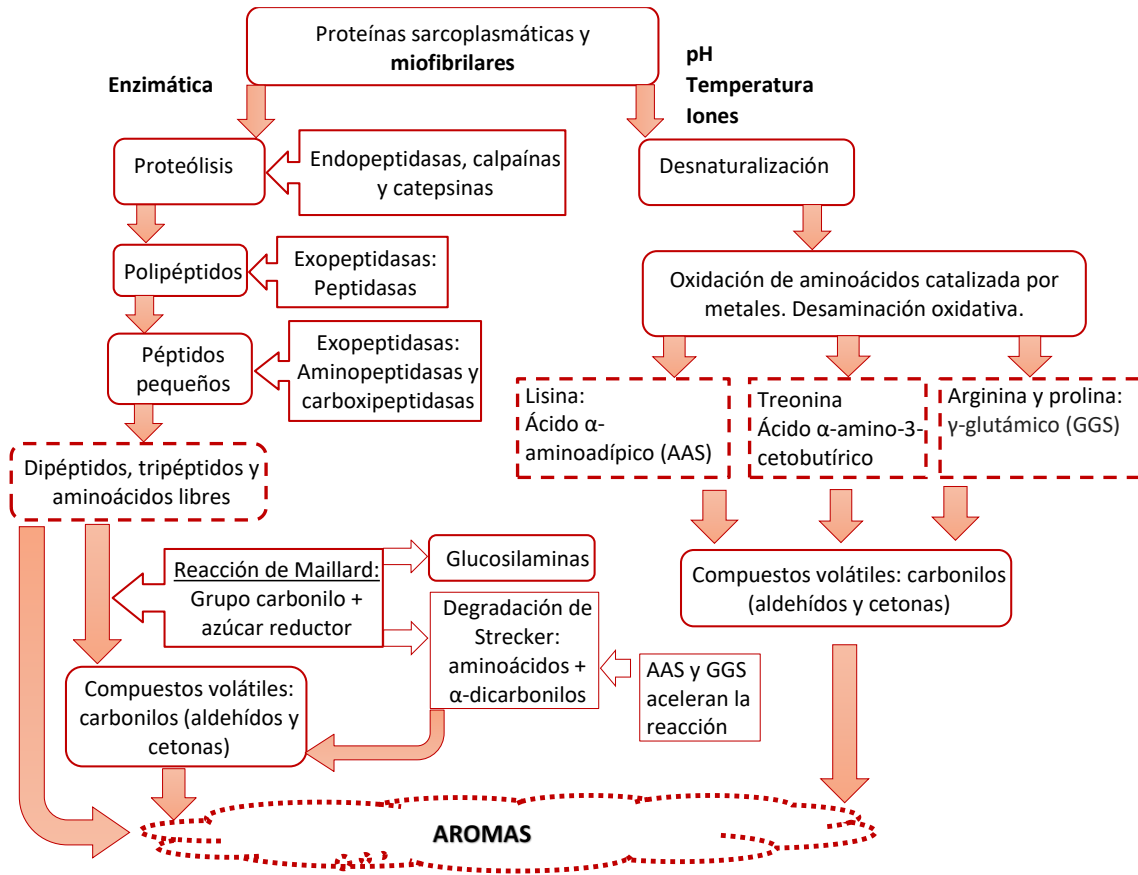


Figura 69. Generación de aromas a partir de alteraciones y degradación proteica.

Es en la fase de secado, cuando las temperaturas elevadas (en torno a 25 °C) producen un aumento importante de aminoácidos libre, del nitrógeno no proteico y peptídico, así como de los ácidos grasos libres, produciéndose una disminución de los compuestos carbonilos (debido a las reacciones de condensación con los aminoácidos libres) y algunas proteínas (Ventana *et al.*, 1992; Antequera *et al.*, 1993; Córdoba *et al.*, 1994a; Córdoba *et al.*, 1994b). Si el proceso de maduración es prolongado o se lleva a cabo en bodega, continúan aumentando los aldehídos volátiles y los peróxidos (Antequera *et al.*, 1992). Cuando el tiempo de secado es breve existe más probabilidad de presencia de compuestos con aromas a rancio y existe un desarrollo insuficiente en la cantidad de reacciones de condensación (Ventanas *et al.*, 1998). En concreto, los aldehídos volátiles formados a partir de la oxidación o descomposición de lípidos, desempeñan funciones tanto positivas como negativas. Estos aldehídos

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

proceden en gran parte de la liberación de ácidos grasos oleico y linoleico, que durante la fase de post-salado se convierten en sustratos para la oxidación (López-Bote *et al.*, 1993).

La fracción de fosfolípidos da lugar a compuestos volátiles durante la fase de maduración por diversos procesos oxidativos, siendo muy influyente en el perfil de aromas (Ventanas *et al.*, 1997). La composición de ácidos grasos, en especial de los lípidos polares, determina en gran medida el aroma que se genera, pero también va a influir la presencia de antioxidantes de la fracción insaponificable y las condiciones de procesado (Martín *et al.*, 1998b; Ventanas *et al.*, 1999; Cava *et al.*, 2000).

La fracción volátil se ha estudiado en las muestras de carne en origen, es decir, en la recepción del producto, y en el producto final, transcurrido 18.5 meses del proceso de secado-curado. Para cada muestra (combinación de procedencia, momento y sistema de secado) se han realizado seis determinaciones. La fracción volátil es ampliamente compleja, se han detectado 64 compuestos, algunos de ellos presentes en los dos momentos, otros presentes en el momento inicial y otros exclusivamente en el momento final del jamón. Para facilitar el tratamiento de los resultados, el análisis de los componentes se tratará por grupo de familias químicas. La tabla 29 muestra los resultados del análisis de la varianza multifactorial para el área del pico (valor multiplicado por 10^6) obtenido de la cromatografía gaseosa de la familia química de los ésteres, en función de los dos momentos (inicial y final) del proceso de secado, en función de la procedencia y del tipo de secado. Además, se muestra el error estándar para cada uno de los resultados. En negrita aparecen los valores que presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

En general, el sistema de secado no es significativo en la concentración de los ésteres detectados en la fracción volátil, tanto en carne, como en el jamón. Se observan diferencias entre los ésteres que se encuentran en la carne y los que se encuentran en el jamón, principalmente por la desaparición de algunos de los que aparecen en la carne (hexanoato de metilo, decanoato de etilo y heptanoato de etilo) y excepcionalmente por la síntesis de dos de ellos (decanoato de metilo y acetato de octen-1-ol), que aparecen en el jamón y que no aparecen en la carne. La procedencia muestra diferencias estadísticamente significativas, para la totalidad de los ésteres, excepto para el hexanoato de metilo (aroma a carne cocida).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A nivel individual, el hexanoato de metilo muestra diferencias significativas al 95% en lo que respecta al momento de secado, siendo la fase inicial la que mayor contenido de este compuesto presenta. Al final, prácticamente es inexistente. En el caso del decanoato de metilo la procedencia muestra un resultado significativo al 95%, observándose que el jamón ecológico es el que tiene el valor más alto. Teniendo en cuenta el momento del proceso, se observa que es un compuesto que aparece en la etapa final, sin haberse detectado al inicio, no siendo significativo según lo establecido por el análisis estadístico.

Los resultados obtenidos para el decanoato de etilo muestran un mayor contenido de este compuesto para la procedencia ecológica, seguido de la DOP Teruel y convencional. Además, se encuentra mayor presencia en el momento inicial, en la carne, que en jamón curado suponiendo una reducción de más de un 75%.

Tabla 29. Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de los ésteres en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado.

Factores	Variables	Hexanoato de metilo	Decanoato de metilo	Decanoato de etilo	Heptanoato de etilo	Acetato de octen-1-ol
Procedencia	Convencional	9.71±3.61	0.21±0.07	0.38±0.08	3.97±2.97	0.38±0.03
	Ecológico	15.56±3.79	0.52±0.07	0.99±0.07	13.92±2.10	0.18±0.04
	DOP Teruel	10.08±3.61	0.22±0.09	0.52±0.07	5.57±3.32	0.18±0.03
Momento de curado	Recepción	23.39±2.81	-	1.01±0.06	9.54	-
	Final	0.18±3.17	0.33	0.25±0.06	-	0.26
Sistema de secado	Natural	10.16±3.10	0.29±0.08	0.65±0.06	5.64±2.82	0.29±0.04
	Cámara	13.41±2.90	0.36±0.07	0.61±0.06	11.82±2.15	0.22±0.03

Otro de los compuestos pertenecientes a esta familia es el heptanoato de etilo, que de forma similar a lo que ocurre con el decanoato de etilo, es significativo para la procedencia de la materia prima, así en el jamón de procedencia ecológica es donde se detecta el mayor contenido, hasta tres veces más. El momento no resulta significativo, pero cabe mencionar que es un compuesto que está presente en la etapa inicial, la carne, pero que desaparece por completo al final. El acetato de octen-1-ol, último compuesto de esta familia, presenta el valor más alto en el caso del jamón convencional, frente al ecológico y el DOP Teruel que dan el mismo resultado.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 70 muestra de forma global (con la escala correspondiente en cada caso) que los ésteres están presentes en la carne y que la presencia en el jamón es minoritaria, siendo el decanoato de etilo, uno de los que tiene mayor relevancia en el jamón, después de los 18.5 meses de curado.

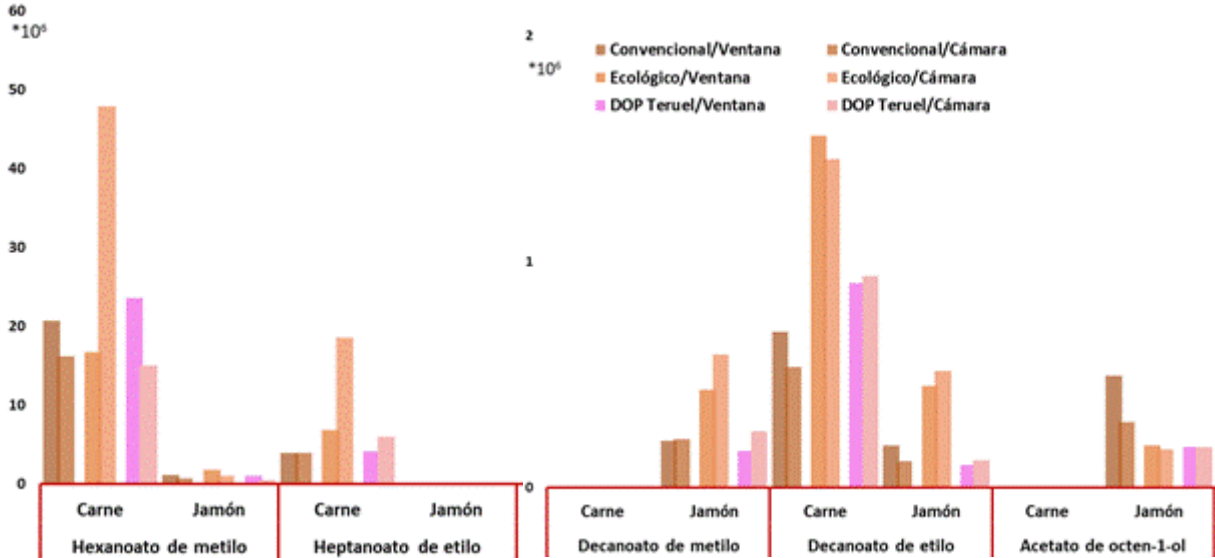


Figura 70. Presencia de ésteres en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado.

La presencia de ésteres se relaciona con el sistema de producción y secado (Carrapiso y Carrapiso, 2005). Su presencia es relevante ya que tiene un bajo umbral de olfacción y aporta aromas a curado y frutales (Bermúdez *et al.*, 2015), asociados a aromas agradables. La mayor presencia de ésteres en jamón ecológico frente a jamón convencional concuerda con lo publicado por Flores *et al.* (1998) donde vieron que el jamón de Parma, sin el empleo de nitratos ni nitritos para su elaboración, presentaba un mayor contenido de esta familia de compuestos volátiles debido a que carecen de la propiedad antioxidante de este aditivo. Según lo publicado por Bermúdez *et al.* (2014) en un estudio realizado con cerdo Celta, los ésteres serían la familia más representativa del perfil de compuestos volátiles, aumentando desde la materia prima, hasta el producto final. En el estudio realizado los valores de ésteres son menores en la materia prima que en el jamón curado, pero sí que observaron la desaparición del heptanoato de metilo y la síntesis de decanoato de metilo y acetato de octen-1-ol. Para otros autores, la familia de los ésteres se encontraría entre la quinta y séptima más importante (Berdagué *et al.*, 1991; Ruiz *et al.*, 1999; Théron *et al.*, 2010). No obstante, el valor máximo encontrado (0.33) coincide con los 0.3 que indican Ramírez

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

y Cava (2007) que suelen estar presentes en el jamón, mostrando que se forman a partir de etanol y ácidos carboxílicos, gracias a la acción de ciertos microorganismos.

La baja presencia de ésteres en el producto final es similar a lo encontrado por Pérez-Juan *et al.* (2006) en el estudio llevado a cabo en jamón curado mediante un proceso corto (7 meses) y uno largo (12 meses) donde se puede apreciar una disminución del contenido de estos compuestos volátiles cuando el curado es más lento y como en la zona de la punta no se detectan ésteres o se hace en cantidades bastante menores a la zona del centro del jamón o en lomo de cerdo curado donde los valores pueden llegar a ser más del doble de los encontrados en jamón o paleta (Reina *et al.*, 2012).

La tabla 30 muestra los resultados del análisis de la varianza multifactorial para el área del pico (valor multiplicado por 10^6) obtenido de la cromatografía gaseosa de la familia química de los monoterpenos, en función de los dos momentos (inicial y final) del proceso de secado, en función de la procedencia y del tipo de secado. Además, se muestra el error estándar para cada uno de los resultados. En negrita aparecen los valores que presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Tabla 30. Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de los monoterpenos en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado.

Factores	Variables	p-xileno	α -pineno	Canfeno	β -pineno	Limoneno	Allo-ocimeno	Trans-óxido de limoneno	Pulegona
Procedencia	Convencional	1.33\pm0.11	19.43 \pm 2.94	15.84 \pm 3.91	27.03 \pm 1.37	104.20 \pm 14.0	0.45 \pm 0.10	0.24 \pm 0.03	1.04\pm0.08
	Ecológico	0.96\pm0.11	24.83 \pm 2.94	24.03 \pm 4.10	27.79 \pm 1.37	129.96 \pm 14.0	0.47 \pm 0.13	0.24 \pm 0.03	0.65\pm0.10
	DOP Teruel	0.94\pm0.11	24.48 \pm 2.94	19.76 \pm 4.19	24.76 \pm 1.33	139.02 \pm 14.0	0.25 \pm 0.10	0.17 \pm 0.03	0.59\pm0.12
Momento de curado	Recepción	-	42.91\pm2.40	39.84\pm2.73	23.51\pm1.12	208.62\pm11.4	-	-	-
	Final	1.08	2.93\pm2.40	0.40\pm2.73	29.54\pm1.09	40.15\pm11.4	0.38	0.22	0.83
Sistema de secado	Natural	1.06 \pm 0.10	20.86 \pm 2.39	17.57 \pm 3.15	25.51 \pm 1.11	115.26 \pm 11.4	0.25 \pm 0.08	0.22 \pm 0.02	0.88 \pm 0.10
	Cámara	1.10 \pm 0.01	24.97 \pm 2.39	22.19 \pm 3.51	27.53 \pm 1.11	133.52 \pm 11.4	0.51 \pm 0.08	0.21 \pm 0.03	0.79 \pm 0.10

En general, se observa que el sistema de secado no es significativo en la concentración de los monoterpenos detectados en la fracción volátil, tanto en carne, como en el jamón. La procedencia muestra diferencias estadísticamente significativas en el p-xileno (aroma a ahumado) y pulegona (aroma mentolado, dulce y metálico). No obstante, con la procedencia ecológica se obtienen mayores valores de α -pineno (aroma frutal y floral), β -pineno (aroma resinoso, a pino), allo-ocimeno (aroma cítrico),

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

canfeno (aroma picante) y con la producción convencional mayores de p-xileno y pulegona. Se observan diferencias significativas entre los contenidos de los monoterpenos que se encuentran en la carne y los que se encuentran en el jamón, principalmente por la disminución de las concentraciones, de la recepción al final del proceso, para los cuatro componentes que se detectan en la carne y en el jamón (α -pineno, canfeno, β -pineno y limoneno) y en bajas concentraciones, la aparición de cuatro de los monoterpenos detectados exclusivamente en el jamón y que inicialmente no estaban en la carne (p-xileno, allo-ocimeno, trans-óxido de limoneno y pulegona). El allo-ocimeno y el trans-óxido de limoneno no muestran resultados significativos para ninguno de los factores analizados. Respecto al secado, excepto para trans-óxido de limoneno y pulegona, los mayores valores se obtienen en los jamones secados en cámara.

En el presente estudio, la familia de los monoterpenos está más presente en el jamón convencional, seguido del ecológico y el DOP, para los compuestos que resultan ser significativos, los compuestos que están presentes al inicio disminuyen al final del proceso y aquellos que no se detectaban pasan a ser identificados.

La figura 71 muestra de forma global (con la escala correspondiente en cada caso) que los monoterpenos tienen mayor presencia en la carne, siendo las concentraciones del limoneno muy altas, para las tres procedencias. Transcurridos los 18.5 meses de curación, destacan los monoterpenos β -pineno y limoneno, como los de mayor presencia en el jamón.

A nivel individual, el p-xileno da un valor superior en el jamón convencional, frente al ecológico y el DOP Teruel. Este compuesto no se detecta en la recepción de la materia prima, pero sí en la etapa final como nueva creación. En el momento del curado el α -pineno da un valor superior en la recepción con respecto a la fase final del curado donde disminuye.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

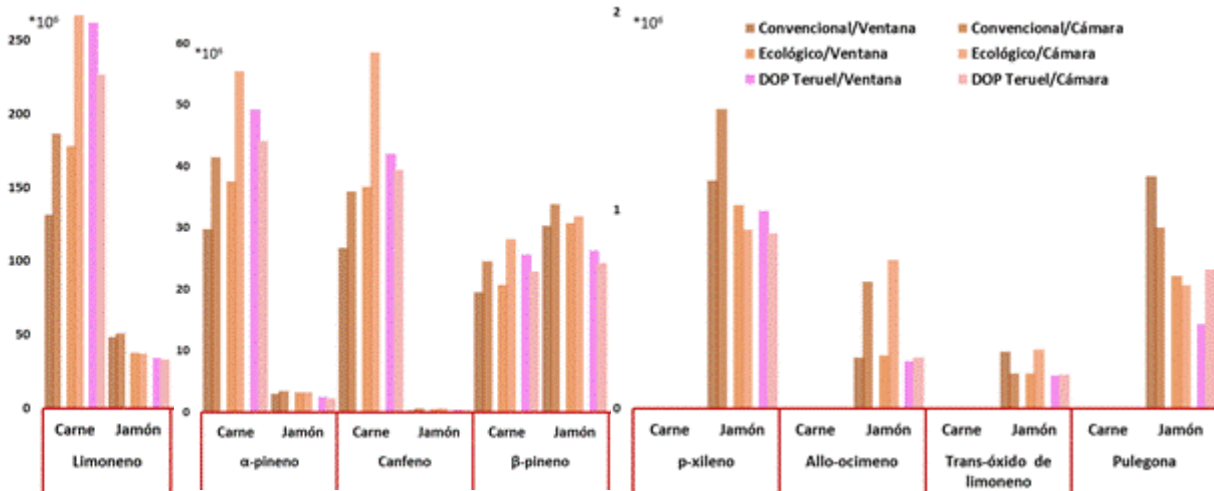


Figura 71. Presencia de monoterpenos en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado.

Esta misma situación se da para el canfeno, β -pineno y limoneno. En el caso de este último se presenta como el componente mayoritario tanto en la recepción como al final del proceso pasando de 208.62 a 40.15. La pulegona aparece en la etapa final del proceso, aunque no resulta ser significativo, no así el estudio de la procedencia que da un valor de 1.04 al jamón convencional, un 0.65 al ecológico y un 0.59 al DOP Teruel, siendo estos resultados significativos para el presente estudio.

Se ha identificado el α -pineno y el limoneno como compuestos presentes en mayor cantidad en animales criados en montanera (Ventanas *et al.*, 2007b), relacionándose así con la alimentación (Ramírez y Cava, 2007; Ventanas *et al.*, 2010) y tipo de alojamiento que permite mayor movilidad. En el presente estudio, las mayores cantidades se han encontrado en la procedencia ecológica para el α -pineno, pero no para el limoneno (aroma cítrico), donde atendiendo a los resultados de la procedencia se observa que es el jamón DOP Teruel el que presenta el mayor contenido, aunque estos resultados no son significativos.

El valor de 1.08 encontrado para el p-xileno es similar al de 1.20 identificado en *bíceps femoris* en el estudio llevado a cabo por Bermúdez *et al.* (2015), correspondiendo este valor a los 11 meses de curado del producto en lo que llama, segunda fase de bodega.

La tabla 31 muestra los resultados del análisis de la varianza multifactorial para el área del pico (valor multiplicado por 10^6) obtenido de la cromatografía gaseosa de la familia química de los terpenos

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

y compuestos oxigenados del benceno, en función de los dos momentos (inicial y final), de la procedencia y de los dos tipos de secado. Además, se muestra el error estándar para cada uno de los resultados. En negrita aparecen los valores que presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

En general, se observa que entre los cuatro terpenos detectados, la procedencia es estadísticamente significativa para el 1,8-cineol (aroma a eucalipto) y para el α -linalol (aroma frutado). La procedencia de la materia prima, para jamón DOP Teruel obtiene el mayor valor con diferencias al 95% de confianza, seguido del ecológico y por último el convencional, para los otros dos compuestos no se obtienen resultados significativos, pero sus valores difieren de lo encontrado para el 1,8-cineole y el α -linalol y entre sí, siendo de mayor a menor contenido el jamón de procedencia convencional, seguido del ecológico y por último el DOP Teruel para el terpinoleno (aroma resinoso) y el jamón ecológico, el DOP Teruel y el convencional para el carvone. No resultan significativos los resultados que hacen referencia al sistema de secado, siendo todos los valores mayores cuando el secado se hace en cámara excepto para el α -linalol, donde el secado al natural da el mayor valor.

Tabla 31. Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de los terpenos y derivados oxigenados del benceno en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado.

Factores	Variables	Terpenos			Oxigenados del benceno		
		1,8-cineol	α -linalol	Terpinoleno	Carvona	Estragol	Anetol
Procedencia	Convencional	120.88±23.44	6.68±2.60	2.71±0.48	4.40±0.64	14.38±2.09	4.29±0.53
	Ecológico	192.78±23.44	9.99±2.60	2.35±0.59	6.08±0.60	17.90±2.09	2.78±0.58
	DOP Teruel	197.88±23.44	18.05±2.37	1.30±0.59	5.15±0.60	18.17±2.09	4.58±0.49
Momento de curado	Recepción	170.52	11.98	-	8.23±0.51	25.78±1.71	5.71±0.48
	Final				2.19±0.49	7.85±1.71	2.06±0.39
Sistema de secado	Natural	150.29±20.11	12.20±2.38	1.64±0.46	4.48±0.51	15.03±1.71	3.41±0.42
	Cámara	190.74±20.11	11.75±2.38	2.70±0.43	5.94±0.49	18.60±1.71	4.36±0.45

La figura 72 muestra de forma global (con la escala correspondiente en cada caso) que los terpenos tienen mayor presencia en la carne, siendo las concentraciones del 1,8-cineol muy altas, para las tres procedencias. Los derivados oxigenados de benceno aparecen en la carne y disminuyen significativamente en el jamón.

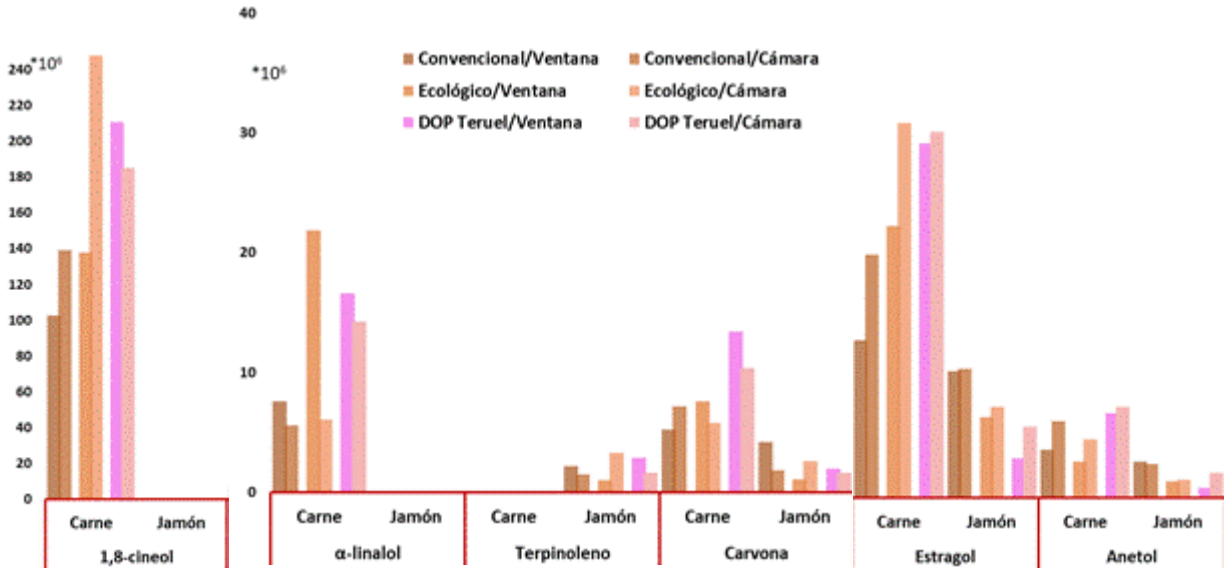


Figura 72. Presencia de terpenos y derivados oxigenados del benceno en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado.

En cuanto al momento del curado, sólo resultan significativos los valores encontrados para la carvona (aroma dulce y mentolado), el resto de factores no es significativo en la concentración de estos compuestos aromáticos. Encontrando que el 1,8-cineol y el α -linalol, sólo se detectan en la carne, el terpinoleno sólo se encuentra en el jamón y la carvona se detecta en la carne y en el jamón, disminuyendo su concentración en el jamón.

A nivel individual, el 1,8-cineol es el compuesto mayoritario de esta familia con valores que van desde 197.88 para el jamón DOP Teruel a 120.88 para el jamón convencional, encontrándose el jamón ecológico entre ambos. Este compuesto en la recepción presenta un valor de 170.52 que desaparece al final del proceso no siendo detectable. El α -linalol da el valor más alto para la carne destinada a jamón DOP, seguida de la ecológica y la convencional. De nuevo, este compuesto se detecta en la recepción de la materia prima, pero no en la fase final. Ninguno de los factores analizados para el terpinoleno ha resultado ser significativo, no obstante, cabe destacar que este compuesto se detecta al final del proceso y no en la recepción.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los dos derivados oxigenados del benceno detectados son el estragol y el anetol (ambos con aromas a anís). Para el estragol, el momento de curado es significativo, encontrando las concentraciones significativamente superiores para la carne, encontrándose una disminución del 70% de la recepción al final del proceso donde se detecta un valor de 7.85. Para el anetol, el sistema de secado no es estadísticamente significativo, encontrándose diferencias significativas para el resto de factores estudiados, a pesar de ello se observa la misma tendencia que para el resto de resultados presentados hasta el momento, los valores detectados en cámara son mayores que los del sistema de secado al natural. La procedencia es significativa obteniendo el mayor valor la DOP Teruel y en cuanto al momento de curado se detecta más cantidad en la recepción que en el producto final, siendo el estragol el que se encuentra en mayor cantidad dentro de esta familia. El anetol, muestra las mayores cantidades (con diferencias significativas) para la DOP Teruel con valores de 4.58, seguido del convencional con 4.29 y por último el ecológico con 2.78.

La presencia de terpenos junto con la de azufre en jamón son importantes en el aroma porque aportan notas aromáticas potentes, pero Ramírez y Cava (2007) lo encuentran en cantidades muy pequeñas, sin embargo, en otro producto curado como es el lomo los terpenos se encuentran en cantidades mucho más elevadas, pudiendo deberse a la adición de especias en el procesado o a la alimentación del ganado, estando relacionado con aromas agradables igual que los hidrocarburos (Ventanas *et al.*, 2007b).

La tabla 32 muestra los resultados del análisis de la varianza multifactorial para el área del pico (valor multiplicado por 10^6) obtenido de la cromatografía gaseosa de la familia química de los alcoholes, en función de los dos momentos (inicial y final) del proceso de secado, en función de la procedencia y del tipo de secado. Además, se muestra el error estándar para cada uno de los resultados. En negrita aparecen los valores que presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 32. Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de los alcoholes en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado.

Factores	Variables	1-octen-3-ol	3,5-octadien-2-ol	1-hexanol	1-heptanol	1-octanol
Procedencia	Convencional	27.94±2.65	5.22±3.03	12.13±1.86	15.48±4.34	13.05±6.00
	Ecológico	31.13±2.65	22.24±2.96	17.56±1.86	41.85±4.34	36.93±18.18
	DOP Teruel	21.71±2.65	4.74±2.96	8.97±1.86	16.17±4.34	11.56±5.99
Momento de curado	Recepción	40.71±2.16	15.78±2.42	12.89	24.50	20.51
	Final	13.15±2.16	5.69±2.46	-	-	-
Sistema de secado	Natural	26.71±2.16	6.64±2.42	10.44±1.62	16.77±4.19	14.23±3.58
	Cámara	27.14±2.16	14.83±2.46	15.34±1.62	32.23±4.19	26.80±3.58

Se han detectado cinco alcoholes presentes todos en los perniles de la carne y que disminuyen significativamente en el jamón, hasta desaparecer en este producto final el 1-hexanol (aroma herbáceo), el 1-heptanol (aroma a coco) y el 1-octanol (aroma a cera y grasa). El momento del curado es significativo para el 1-octen-3-ol (aroma a cebolla tostada) y para el 3,5-octadien-2-ol (aroma a césped), reduciéndose los niveles desde la recepción al final del proceso. Para el 1-hexanol, 1-heptanol y 1-octanol el momento no es significativo, pero cabe destacar que son compuestos que se detectan en la recepción, incluso con valores superiores al 3,5-octadien-ol, pero desaparecen al final en el jamón. Las concentraciones de alcoholes son estadísticamente significativas en función de la procedencia para el 1-octen-3-ol, siendo la procedencia ecológica la que da proporción los valores de los componentes aromáticos más altos. Así, para los cinco alcoholes detectados, el orden de mayor a menor es el producto ecológico, convencional y DOP Teruel para el 1-octen-3-ol, 3,5-octadien-2-ol y el 1-hexanol, pero no para el 1-heptanol y el 1-octanol, donde el orden de más a menos es ecológico, DOP Teruel y convencional. Por último, cuando los jamones se secan en cámara, los valores de los alcoholes son mayores, siendo las diferencias estadísticamente significativas para todos los alcoholes detectados, excepto para el 1-octen-3-ol.

La figura 73 muestra de forma global que los alcoholes tienen mayor presencia en la carne, siendo las concentraciones del 1,8-cineol muy altas, para las tres procedencias. Los derivados oxigenados de benceno aparecen en la carne y disminuyen significativamente en el jamón.

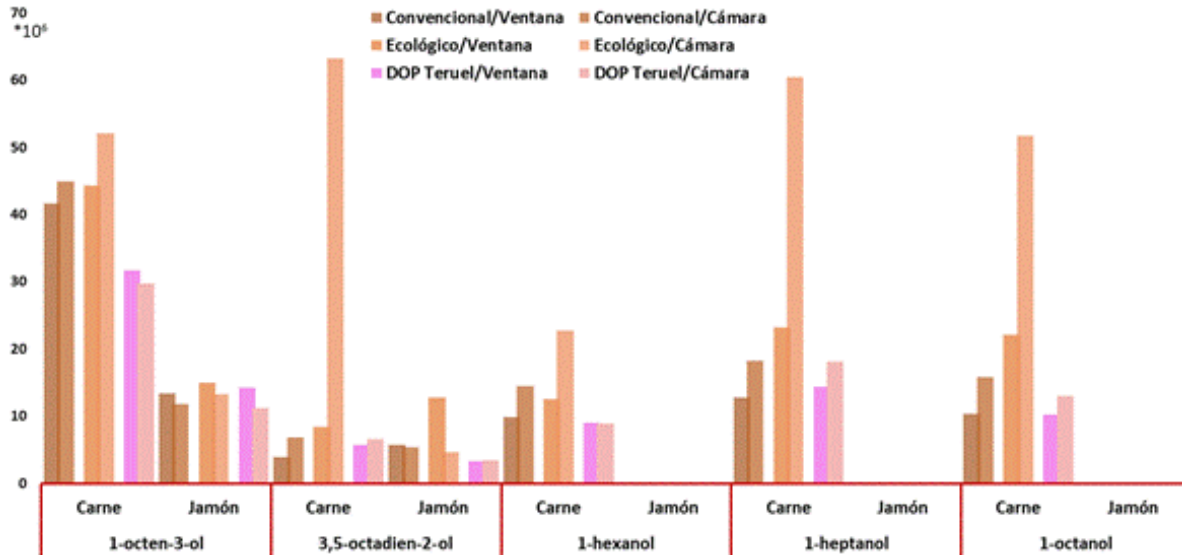


Figura 73. Presencia de alcoholes en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado.

A nivel individual, el 1-octen-3-ol presenta concentraciones significativas para la procedencia de la materia prima, siendo la ecológica la que mayor valor contiene con 31.13 seguida de la convencional con 27.94 y por último la DOP Teruel con 21.71. En el presente estudio el contenido de este componente, al igual que lo que se viene observando en la mayoría, disminuye en la etapa final en comparación con la recepción de materia prima. Este compuesto es el mayoritario al final del proceso con 13.15.

El 3,5-octadien-2-ol presenta valores significativos al 95% de confianza para los cuatro factores objeto del análisis, así la mayor concentración de este alcohol es para la materia prima de procedencia ecológica, seguida de la convencional y la DOP Teruel. De nuevo se observa un descenso al final del proceso respecto a la recepción, sobre todo si el secado se realiza al natural.

El 1-hexanol da valores significativos al 95% de confianza para la procedencia de la materia prima, y continúa siendo la procedencia ecológica la que mayor concentración de este alcohol presenta, seguida de la procedencia convencional y de la procedencia DOP Teruel. En el presente estudio se observa como el compuesto desaparece al final de proceso no siendo detectado.

El 1-heptanol presenta resultados significativos al 95% de confianza para la procedencia de la materia prima, esta condición se mantiene en la procedencia de las muestras, donde el producto ecológico vuelve a ser el que mayor contenido tiene con 41.85 frente a los 16.17 del DOP Teruel o los

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

15.48 del convencional, estos resultados son mayores cuando el secado se produce en cámara, frente al secado al natural. El momento del curado no resulta ser significativo en el presente estudio, pero se observa que es un compuesto que desaparece al final del proceso de curado.

Por último, en el 1-octanol sigue siendo la procedencia ecológica con un 36.93 la que tiene el mayor valor en comparación con el convencional (13.05) y la DOP (11.56). Estos valores son superiores si el secado se realiza en cámara frente al natural, y se trata de uno de los alcoholes que se detecta al inicio del proceso, pero que al final desaparece.

En resumen, para la familia de los alcoholes los valores más altos se detectan en productos de procedencia ecológica siendo mayores los resultados en la recepción que al final, sobre todo al realizar el secado en cámara, habiendo tres compuestos de los detectados que desaparecen al final del proceso (1-hexanol, 1-heptanol, 1-octanol), aunque esto último no resulta significativo en el estudio realizado.

El grupo de los alcoholes supone el cuarto grupo en representatividad, coincidiendo con lo detectado por Berdagué *et al.* (1991), por Théron *et al.* (2010) o por Bermúdez *et al.* (2014). Estos últimos autores a diferencia de lo ocurrido en el presente estudio, no detectaron presencia de esta familia en la carne cruda, pero sí que los valores del 1-octen-3 ol, que se obtienen en el producto final (13.15) son similares a los encontrados en su estudio, tras 11 meses de curado (8.98), aunque algo inferiores, quizá debido a que parte de los hidroperóxidos dieron lugar a la producción de 1-hexanol (4.73), compuesto que en el presente estudio no ha sido detectado al final del proceso. Otros autores reportan en una posición menor la familia de los alcoholes, suponiendo más presencia en el producto final (Bolzoni *et al.*, 1996; Flores *et al.*, 1997; Toldrá *et al.*, 1997). La mayor parte de estos compuestos proceden de los hidroperóxidos generados en la oxidación lipídica (Shaidi *et al.*, 1986; López Ortega *et al.*, 1992), siendo el ácido linoleico y el palmítico sus precursores (Ventanas *et al.*, 2010). Las notas que aportan son a setas-polvo (1-octen-3-ol), cera-grasa (1-octanol) o césped (1-hexanol) aunque su presencia no va a tener una repercusión tan marcada como otros componentes aromáticos ya que su umbral de percepción es elevado (Drumm y Spanier, 1991; Sabio *et al.*, 1998). Los diferentes compuestos encontrados en esta familia disminuyen con respecto a los valores encontrados en la carne fresca, lo que difiere de lo encontrado por autores como Pérez-Juan *et al.* (2006), donde se ve un aumento de estos compuestos en la zona de la punta de los 7 a los 12 meses de curado, presentando en general,

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

menor contenido que la zona del centro del jamón. En casos puntuales sí que se produce una disminución con el tiempo de curado como ocurre para el 1-octen-3-ol.

Las tablas 33 y 34 muestran los resultados del análisis de la varianza multifactorial para el área del pico (valor multiplicado por 10^6) obtenido de la cromatografía gaseosa de la familia química de los aldehídos, en función de los dos momentos (inicial y final) del proceso de secado, en función de la procedencia y del tipo de secado. Además, se muestra el error estándar para cada uno de los resultados. En negrita aparecen los valores que presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Existe un alto grado de significación de estos componentes aromáticos, siendo una familia con alta representación dentro de la fracción aromática del jamón. Se han detectado quince aldehídos presentes todos en los pernils de la carne, excepto el fenil-acetaldehído y disminuyen significativamente en el jamón, hasta desaparecer, en este producto final, el 2-hexenal (aroma a manzana y fresa) y el benzaldehído (aroma a almendra). La procedencia resulta significativa en todos los casos menos para el (E,E)-2,4-heptadienal (aroma a grasa) , el fenil-acetaldehído (aroma a fruta, rancio y fruta tropical) y el anisaldehído, siendo la ecológica la que obtiene los mayores valores. Para el momento de curado todos los compuestos disminuyen al final del proceso en relación a lo detectado en la materia prima, excepto para el fenil-acetaldehído que no se detecta en la materia prima y sí al final, aunque este resultado no es significativo. Por último, en el caso del sistema de secado de forma general el valor es mayor cuando el jamón se seca en cámara, excepto para el fenil-acetaldehído y el (E,E)-2,4-heptadienal que son mayores cuando se secan en ventana, aunque para el último el resultado no es significativo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 33. Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de los aldehídos en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado.

Factores	Variables	Hexanal	Heptanal	(Z)-2-heptenal	(E,E)-2,4-heptadienal	Fenil-acetaldehído	(E)-2-octenal	Nonanal
Procedencia	Convencional	126.80±17.58	9.91±1.53	9.01±1.09	3.80±3.06	1.72±0.14	19.97±2.43	23.84±4.39
	Ecológico	131.19±26.37	18.71±1.53	15.90±1.09	11.69±2.31	1.61±0.14	37.30±2.38	57.10±4.40
	DOP Teruel	77.09±12.43	10.61±1.55	7.33±1.09	0.63±6.12	1.46±0.14	18.51±2.38	28.86±4.40
Momento de curado	Recepción	177.60±7.17	22.79±1.19	16.79±0.90	19.48±1.73	-	41.48±1.94	63.63±3.59
	Final							
Sistema de secado	Natural	93.27±10.56	9.86±1.28	9.18±0.90	6.23±2.63	1.76±0.11	20.70±1.94	26.54±3.59
	Cámara	130.12±22.88	16.30±1.23	12.31±0.90	1.00±2.63	1.43±0.11	29.83±1.97	46.67±3.59

Tabla 34. Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de los aldehídos (continuación) en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado.

Factores	Variables	(E)-2-nonenal	Decanal	(E,E)-2,4-nonadienal	Anisaldehído	(E)-2-decenal	(E,E)-2,4-decadienal	2-hexenal	Benzaldehído
Procedencia	Convencional	3.66±0.33	1.31±0.26	1.57±0.19	2.44±0.40	2.19±0.35	0.35±0.01	2.64±0.33	9.38±2.42
	Ecológico	7.03±0.32	2.64±0.25	3.00±0.19	3.91±0.47	5.59±0.35	0.53±0.01	4.78±0.33	23.68±2.31
	DOP Teruel	3.59±0.33	2.27±0.25	1.48±0.19	3.12±0.46	2.76±0.35	0.33±0.01	2.05±0.33	11.11±2.21
Momento de curado	Recepción	6.90±0.28	3.25±0.21	2.28±0.15	5.01±0.34	6.29±0.28	0.78±0.01	3.16	14.78
	Final	2.62±0.26	0.90±0.20	1.76±0.15	1.30±0.38	0.73±0.28	0.31±0.01	-	-
Sistema de secado	Natural	4.18±0.28	1.44±0.21	1.80±0.15	3.05±0.40	2.65±0.28	0.42±0.01	2.67±0.37	10.75±2.18
	Cámara	5.34±0.26	2.71±0.20	2.24±0.15	3.26±0.32	4.37±0.28	0.41±0.01	3.64±0.37	19.06±2.25

Las figuras 74 y 75 muestran de forma global (con la escala correspondiente en cada caso) que los aldehídos tienen mayor presencia en la carne, siendo los componentes con mayor presencia en el jamón. El aldehído mayoritario es el hexanal (aroma y olor frutal) y destaca el benzaldehído como uno de los componentes que desaparece en el jamón, aunque los niveles en las carnes, en todas las procedencias son significativas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

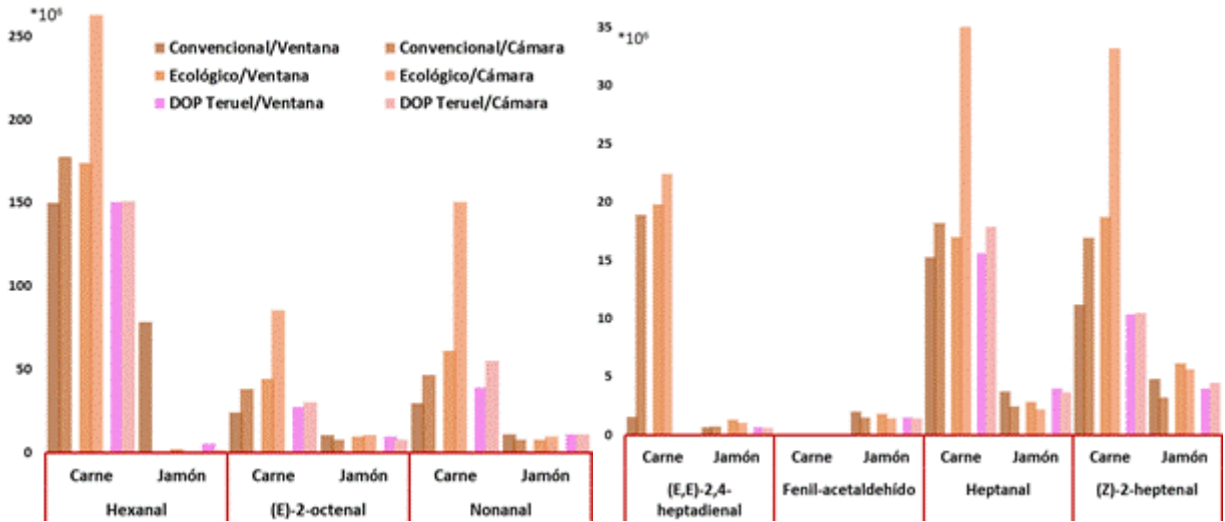


Figura 74. Presencia de aldehídos en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado.

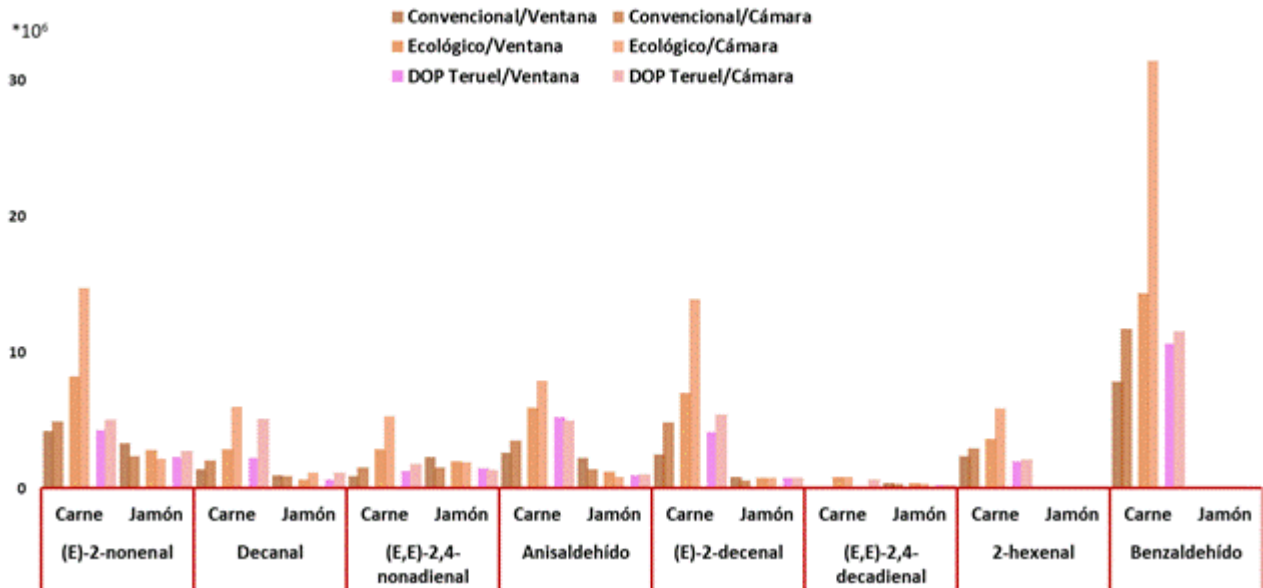


Figura 75. Presencia de aldehídos (continuación) en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado.

A nivel individual, el aldehído que presenta el mayor valor es el benzaldehído, siendo la procedencia ecológica la que da los resultados más elevados. El hexanal muestra más contenido cuando el origen de la carne es ecológico con un 131.19 frente al convencional con 126.80 o la DOP Teruel con 77.09, estos valores son mayores en la recepción que al final del proceso, siendo el valor detectado el mayor de todos

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

los aldehídos con 45.79. El sistema de secado no resulta significativo, pero muestra un valor mayor cuando el jamón se cura en cámara que cuando se hace al natural.

El heptanal (aroma a menta, jazmín y picante), da mayor valor cuando la procedencia es ecológica, seguida de la procedencia DOP Teruel y por último de la procedencia convencional. Para las tres procedencias el valor de heptanal disminuye de la muestra tomada en la recepción a la del producto final. Para este compuesto el secado en cámara da un mayor valor que para el secado al natural.

El valor de nonanal (aroma a manteca, cera y grasa) presente en los jamones de procedencia ecológica es casi el doble que el que presentan los jamones de la DOP Teruel y del convencional, siendo este resultado significativo, donde el valor del ecológico es mayor al de la DOP Teruel y ésta a su vez mayor que la convencional. Disminuyendo los valores para todos los casos al final del proceso en comparación con la materia prima fresca y se verá influido por el sistema de secado, duplicando prácticamente su contenido cuando el secado se realiza en cámara.

En resumen, la familia de los aldehídos presenta concentraciones mayores en la carne y jamones de producción ecológica frente a los de la procedencia convencional o la DOP Teruel, siendo la cámara la que mayor valor concentra de esta familia aromática, aún cuando las concentraciones del jamón disminuyen en comparación con las presentes en la recepción de la materia prima.

Algunos autores la describen como la familia aromática más importante (Purriños *et al.*, 2012), pero en el presente estudio se ha encontrado que es la segunda familia más representativa en los tres tipos de jamones. En general, los aldehídos proceden de la degradación de los ácidos grasos poliinsaturados y tienen un bajo umbral de olfacción, lo que hace que sean compuestos relevantes a la hora de la percepción del aroma (Shaidi *et al.*, 1986; Fuentes *et al.*, 2010), aunque para Flores *et al.* (1997) su presencia es indicativa de pérdidas de sabor por aumento de la oxidación lipídica. Los valores del presente estudio muestran una disminución de la presencia de estos compuestos desde la carne fresca al producto final, coincidiendo con lo reportado por Bermúdez *et al.* (2014), indicando que pasan a ácidos carboxílicos y otros compuestos volátiles durante la elaboración, sufriendo una caída al final del proceso, en el caso concreto del hexanal, la carne no curada se detecta en mayor cantidad (Cross y Ziegler, 1965), de ahí que su valor sea superior en el estudio realizado, obteniendo un valor de 177.60 frente a los 45.79 de la muestra final.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Valores muy elevados de hexanal podrían derivar en olores a rancio, mientras que niveles bajos aportan olor a hierba, vegetales (Théron *et al.*, 2010), sin embargo, la presencia de los aldehídos como nonanal y octanal, derivados de la oxidación del ácido oleico, se asocia a aromas agradables (Cava *et al.*, 2000) y su presencia se ve condicionada por el sistema de producción y secado (Carrapiso y Carrapiso, 2005). De entre todos los detectados el hexanal es el mayoritario, coincidiendo con otros autores (García *et al.*, 1991; López Ortega *et al.*, 1992). En la muestra final la presencia de los aldehídos disminuye en comparación con la muestra inicial, esto es debido a que en procesos de secado de larga duración, tanto los aldehídos como los hidrocarburos tienden a descender, como así vieron en el estudio llevado a cabo por Ruiz *et al.* (1999) donde comparaban el efecto de un proceso de curado de 420 días con otro de 600 días en la generación de compuestos volátiles. Estos compuestos se encuentran en mayor proporción en los cerdos criados en extensivo (Muriel *et al.*, 2004), de ahí que los valores para la producción ecológica sean mayores que para la convencional, así como su presencia en el jamón ecológico con respecto a las otras dos procedencias. Los valores encontrados para hexanal y pentanal en el producto final se aproximan a los resultados que obtienen Bermúdez *et al.* (2014) cuyos valores están en 45.48 y 2.40, respectivamente en las fases finales del proceso, y no coinciden con los presentados por Pérez-Juan *et al.* (2006) cuyos valores para ambos son mucho más bajos.

La tabla 35 muestra los resultados del análisis de la varianza multifactorial para el área del pico (valor multiplicado por 10^6) obtenido de la cromatografía gaseosa de la familia química de las cetonas, en función de los dos momentos (inicial y final) del proceso de secado, en función de la procedencia y del tipo de secado. Además, se muestra el error estándar para cada uno de los resultados. En negrita aparecen los valores que presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Se observa que se han detectado cuatro cetonas presentes en los jamones curados y dos de ellas [(E,E)-3,5-octadien-2-ona y 2-nonanona] no estaban inicialmente en la carne que da origen al jamón. Las concentraciones de (E,E)-3,5-octadien-2-ona son estadísticamente significativas en función de la procedencia. El momento de curación es estadísticamente significativo para los contenidos de la 2-heptanona (aroma a queso picante) y la acetofenona (aroma a almendra y cereza), disminuyendo las concentraciones de estas cetonas en el jamón, con respecto a los valores que presentaba la carne. Para el caso de la (E,E)-3,5-octadien-2-ona (aroma a grasa) y la 2-nonanona (aroma dulce y frutado), los compuesto pasan de no detectarse en fases iniciales a hacerlo en el final. El sistema de secado no

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

presenta diferencias estadísticas frente a las concentraciones de cetonas detectadas en las muestras de carne y jamón.

Tabla 35. Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de las cetonas en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado.

Factores	Variables	2-heptanona	acetofenona	(E,E)-3,5-octadien-2-ona	2-nonanona
Producción	Convencional	10.09±2.07	1.31±0.23	5.36±0.37	9.04±0.43
	Ecológico	12.31±2.93	1.87±0.32	6.91±0.52	10.18±0.72
Procedencia	Convencional	13.14±2.50	1.17±0.18	6.18±0.48	8.80±0.75
	Ecológico	12.31±2.50	1.81±0.18	6.91±0.48	10.25±0.79
	DOP Teruel	7.04±2.50	1.42±0.19	4.55±0.48	9.27±0.75
Momento de curado	Recepción	17.11±2.04	2.66±0.15	-	-
	Final	4.55±2.04	0.28±0.15	5.88	9.42
Sistema de secado	Natural	8.04±2.04	1.28±0.15	5.69±0.45	10.48±0.56
	Cámara	13.62±2.04	1.66±0.15	6.07±0.45	8.29±0.58

La figura 76 muestra de forma global que las cetonas son componentes que van a caracterizar al jamón, ya que en menor o mayor concentración se presentan transcurridos los 18.5 meses del proceso de secado. Destaca la concentración de 2-nonanona y la degradación significativa de la 2-heptanona presente en la carne hasta el producto final.

En general, la procedencia ecológica muestra una mayor concentración de estos componentes aromáticos, disminuyendo la cantidad en la muestra final para la 2-heptanona y la acetofenona de manera significativa y apareciendo en la etapa final únicamente la (E,E)-3,5-octadien-2-ona y la 2-nonanona, no siendo significativo este resultado. El componente mayoritario en este caso es la 2-nonanona con 9.42.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

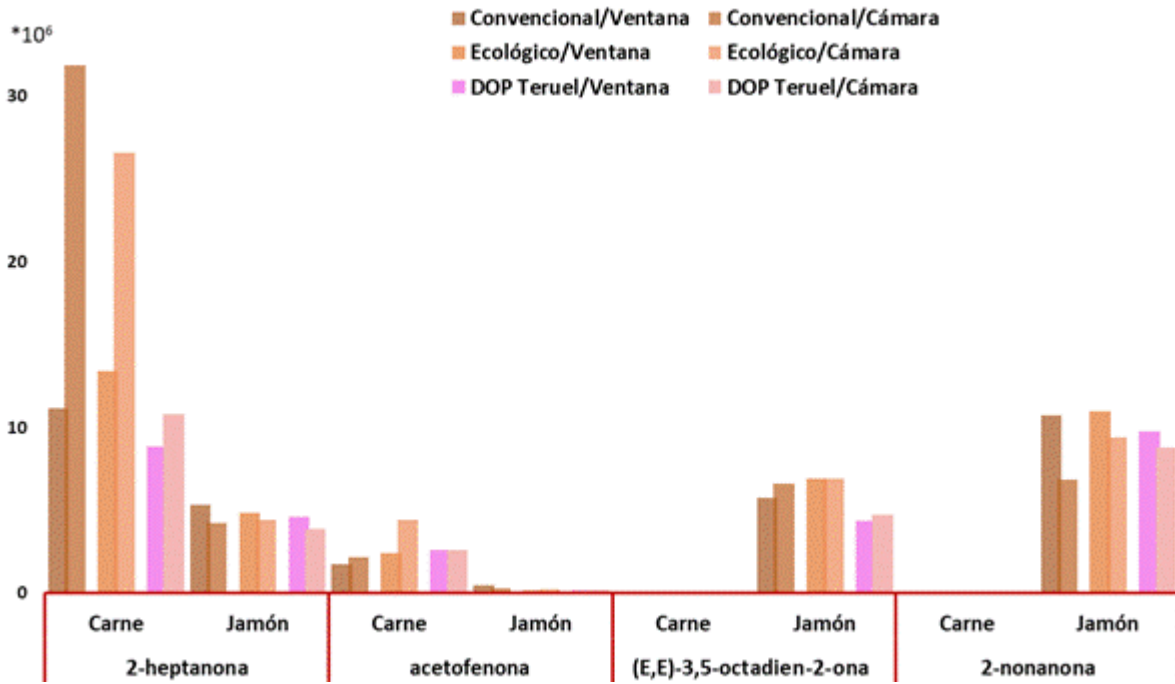


Figura 76. Presencia de cetonas en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado.

La presencia de estos compuestos se asocia al sistema de producción, las condiciones del procesado y el deterioro microbiano (Carrapiso y Carrapiso, 2005). Entran dentro de los compuestos mayoritarios, ocupando el quinto puesto, similar a lo encontrado por otros autores que lo sitúan también entre las cinco principales familias de componentes volátiles (Muriel *et al.*, 2004; Ramírez y Cava, 2007; Ventanas *et al.*, 2010). Surgen como fruto de procesos de oxidación secundarios (Cava *et al.*, 2000), siendo compuestos importantes en el flavor (Flores *et al.*, 1997).

La tabla 36 muestra los resultados del análisis de la varianza multifactorial para el área del pico (valor multiplicado por 10^6) obtenido de la cromatografía gaseosa de la familia química de familia de los hidrocarburos alifáticos y aromáticos, en función de los dos momentos (inicial y final) del proceso de secado, en función de la procedencia y del tipo de secado. Además, se muestra el error estándar para cada uno de los resultados. En negrita aparecen los valores que presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se trata de una familia compleja, que se detecta tanto en origen, es decir en la carne, como en el producto final o jamón. El tolueno (aroma a curado) es el componente mayoritario tanto de esta familia química, como del total de componentes detectados en el presente estudio. Bajo el paraguas de la procedencia ecológica se obtienen mayores contenidos de estos componentes volátiles, excepto para el caso del tolueno. Se observan diferencias estadísticamente significativas en todos los compuestos aromáticos de esta familia, excepto para el tolueno y el β -metilnaftaleno.

El momento de curación muestra que las concentraciones son estadísticamente inferiores para el jamón (momento final), excepto para el tolueno donde son menores en la carne, aunque las diferencias no son significativas. El sistema de secado presenta diferencias estadísticas para el p-cimeno, naftaleno y α -metilnaftaleno, observándose mayores concentraciones cuando el sistema de secado es en cámara, excepto para el tolueno, donde las mayores concentraciones se obtienen con el sistema de ventana abierta.

El p-cimeno (aroma a tomillo y pino) es el componente con mayor concentración detrás del tolueno, en función de la procedencia de la carne, dando un valor final de 40.95 para el jamón curado, siendo significativo este resultado.

Tabla 36. Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de los hidrocarburos alifáticos y aromáticos en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado.

Factores	Variables	Tolueno	p-cimeno	Naftaleno	β -metilnaftaleno	α -metilnaftaleno	Bifenilo
Procedencia	Convencional	407.67 \pm 72.43	82.13\pm10.35	3.35\pm0.49	1.38 \pm 0.22	0.33\pm0.06	0.25\pm0.04
	Ecológico	373.72 \pm 72.43	126.03\pm10.35	5.46\pm0.49	1.98 \pm 0.33	0.71\pm0.06	0.43\pm0.04
	DOP Teruel	297.03 \pm 72.43	96.93\pm10.35	3.67\pm0.49	1.55 \pm 0.30	0.43\pm0.06	0.29\pm0.04
Momento de curado	Recepción	317.33 \pm 59.14	162.43\pm8.45	6.67\pm0.40	2.36\pm0.17	0.85\pm0.05	0.53\pm0.03
	Final	401.62 \pm 59.14	40.95\pm8.45	1.65\pm0.40	0.92\pm0.29	0.13\pm0.05	0.11\pm0.03
Sistema de secado	Natural	373.09 \pm 59.14	85.72\pm8.45	3.45\pm0.40	1.46 \pm 0.25	0.39\pm0.05	0.28 \pm 0.03
	Cámara	345.86 \pm 59.14	117.67\pm8.45	4.87\pm0.40	1.81 \pm 0.21	0.59\pm0.05	0.36 \pm 0.02

La figura 77 muestra de forma global (con la escala correspondiente en cada caso) que los hidrocarburos alifáticos y aromáticos son componentes que van a caracterizar al jamón, ya que en menor o mayor concentración se presentan transcurridos los 18.5 meses del proceso de secado. Destacan las altas concentraciones de tolueno y p-cimeno, aunque todos los componentes están presentes tanto en carne como en el jamón.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

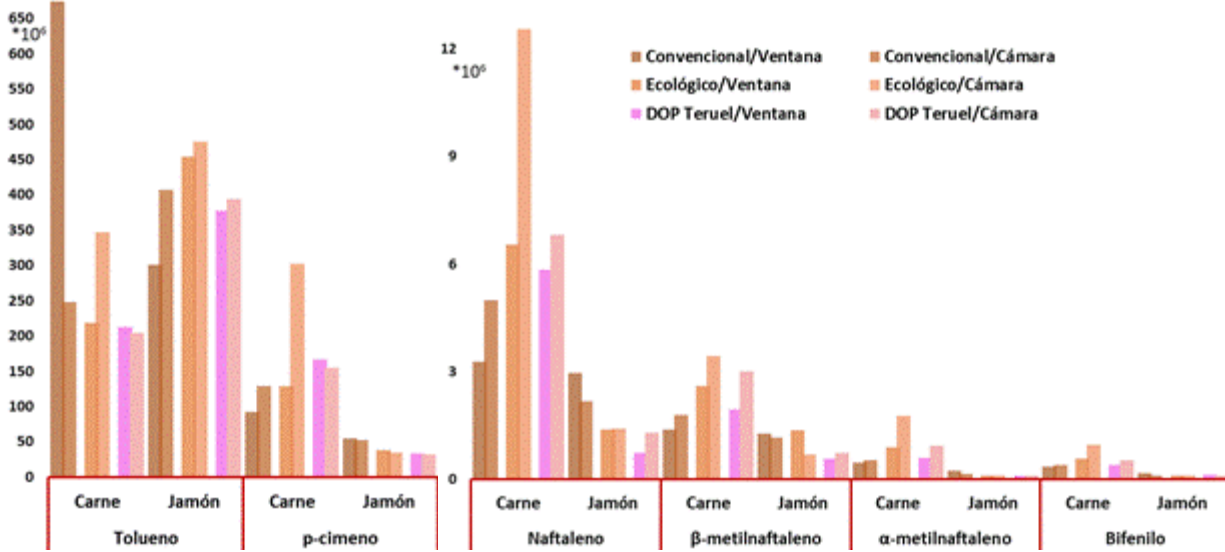


Figura 77. Presencia de hidrocarburos alifáticos y aromáticos en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado.

En el presente estudio los hidrocarburos aromáticos y alifáticos han sido los compuestos mayoritarios, coincidiendo con lo encontrado por otros autores (Toldrá *et al.*, 1997; Berdagué *et al.*, 1993; Ventanas *et al.*, 2007b). Estos compuestos, al igual que ocurre con los aldehídos, disminuyen con procesos de curación prolongados (Ruiz *et al.*, 1999; Bermúdez *et al.*, 2015). En relación a su contribución al aroma no son muy relevantes, pero puede aumentar si lo hace la cadena de carbono (Flores *et al.*, 1997) dando lugar a sabores deseables en el producto, asociados a la alimentación recibida por los animales durante la producción (Ventanas *et al.*, 2007b).

En cuanto a su progreso desde la carne hasta el jamón curado se observa una disminución de todos los componentes detectados que forman esta familia, coincidiendo con lo encontrado por Ruiz *et al.* (1999), donde los valores de hidrocarburos disminuían en el procesado largo. Esto es así excepto para el tolueno que con un valor de 401.62 es el compuesto mayoritario de todos los volátiles detectados viéndose un aumento del 26% con respecto al valor obtenido en la carne, siendo de gran relevancia en el aroma del producto curado (Bermúdez *et al.*, 2014). El valor tan elevado no coincide con lo encontrado en la bibliografía.

La tabla 37 muestra los resultados del análisis de la varianza multifactorial para el área del pico (valor multiplicado por 10⁶) obtenido de la cromatografía gaseosa de la familia química de familia de los

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

alcanos, en función de los dos momentos (inicial y final) del proceso de secado, en función de la procedencia y del tipo de secado. Además, se muestra el error estándar para cada uno de los resultados. En negrita aparecen los valores que presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Los alcanos detectados se tratan de compuestos de 11, 13 y 14 átomos de carbono, que se encuentran en bajas concentraciones. Se detectan todos en el jamón, y en la carne no se ha detectado el 3-metil tridecano (aroma a grasa). En general se observa que estos compuestos se incrementan cuando la procedencia es ecológica, excepto para el tetradecano donde los valores son muy similares. La procedencia es significativa para el caso del undecano (aroma frutado) y 3-metil tridecano, siendo las concentraciones superiores para la procedencia ecológica. El momento resulta significativo para estos componentes aromáticos, siendo las concentraciones superiores en el momento de la recepción para el undecano y tetradecano (aroma a cera, mantequilla y grasa). El efecto del secado sobre la concentración de estos componentes muestra que bajo el sistema de cámara se alcanzan mayores contenidos, con diferencias significativas sobre el undecano y el tetradecano.

Tabla 37. Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de los alcanos en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado.

Factores	Variables	Undecano	Tridecano	3-metil tridecano	Tetradecano
Procedencia	Convencional	2.40±0.30	1.13±0.09	0.28±0.03	0.40±0.04
	Ecológico	3.81±0.37	1.16±0.18	0.33±0.03	0.45±0.03
	DOP Teruel	3.19±0.30	0.96±0.09	0.17±0.03	0.46±0.04
Momento de curado	Recepción	4.40±0.30	0.67±0.13	-	0.56±0.03
	Final	1.87±0.24	1.49±0.05	0.26	0.31±0.03
Sistema de secado	Natural	2.53±0.24	0.97±0.09	0.25±0.03	0.35±0.03
	Cámara	3.73±0.29	1.19±0.10	0.27±0.03	0.52±0.03

La figura 78 muestra de forma global que los alcanos son componentes poco significativos del jamón, aunque presentes en el producto final en pequeñas concentraciones. Destacan el tridecano y el 3-metil tridecano por incrementar sus contenidos en la fase del producto final del curado del jamón.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

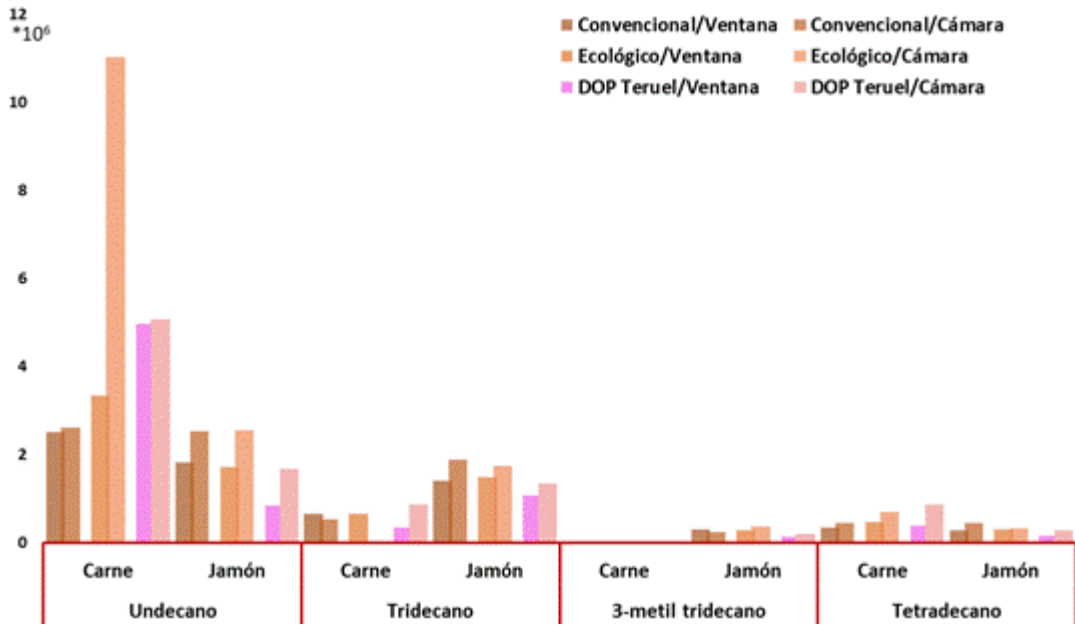


Figura 78. Presencia de alcanos en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado.

A nivel individual, el undecano presenta valores significativos para la procedencia de la materia prima siendo el ecológico el de mayor concentración, seguido del DOP Teruel y el convencional. Al final del proceso el valor es inferior al obtenido para la materia prima, en especial cuando el secado se realiza al natural.

El 3-metil tridecano, sustancia que se sintetiza durante el secado, alcanza concentraciones de hasta los 0.26 y no se detecta en la muestra de la recepción. De nuevo para este compuesto se observa que la procedencia ecológica da mayores valores con respecto a la convencional y a la DOP Teruel. Por último, el tetradecano muestra valores significativos para el momento, donde se ve disminuido el valor en la recepción con respecto al final, así como al sistema de curado, generándose mayores concentraciones en el producto secado en cámara.

La presencia de alcanos en el estudio ha sido baja comparada con otros compuestos, de ahí que ocupe el noveno puesto en cuanto a relevancia, lo que difiere de algunos autores que lo encuentran como familia de compuestos mayoritarios en jamón de Bayona (Théron *et al.*, 2010). Estos compuestos participan muy poco en el aroma (Berdagué *et al.*, 1991). Los valores para estos compuestos disminuyen hasta la fase final, pudiendo ser inexistentes como así indica Bermúdez *et al.* (2015).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 38 muestra los resultados del análisis de la varianza multifactorial para el área del pico (valor multiplicado por 10^6) obtenido de la cromatografía gaseosa de la familia química de los ácidos grasos, en función de los dos momentos (inicial y final) del proceso de secado, en función de la procedencia y del tipo de secado. Además, se muestra el error estándar para cada uno de los resultados. En negrita aparecen los valores que presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Tabla 38. Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de los ácidos grasos en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado.

Factores	Variables	Pentanoico	Hexanoico	Heptanoico	Octanoico	Nonanoico	Decanoico
Procedencia	Convencional	0.48±0.09	4.84±0.21	0.71±0.08	1.35±0.22	0.52±0.08	0.06±0.03
	Ecológico	0.65±0.09	4.67±0.21	1.20±0.08	1.33±0.16	0.44±0.11	0.06±0.02
	DOP Teruel	0.64±0.11	4.42±0.26	0.87±0.09	0.95±0.17	0.31±0.17	0.07±0.02
Momento de curado	Recepción	-	-	-	-	-	-
	Final	0.58	4.67	0.92	1.19	0.47	0.06
Sistema de secado	Natural	0.59±0.08	4.34±0.17	0.84±0.07	1.14±0.13	0.52±0.08	0.07±0.01
	Cámara	0.57±0.08	4.96±0.16	1.08±0.11	1.28±0.17	0.40±0.09	0.05±0.02

Se ha detectado seis ácidos grasos saturados, desde el pentanoico (aroma a queso) hasta el decanoico (aroma a aceite), ambos incluidos, todos presentes en bajas concentraciones, destacando el hexanoico (aroma frutal y queso) como el de mayor presencia. Solamente han sido detectados en el jamón, de forma que se trata de compuestos que han evolucionado en el proceso de curado. La procedencia únicamente es significativa para el caso del ácido graso heptanoico (aroma a rancio), siendo las concentraciones superiores para la procedencia ecológica, frente a la convencional, siendo el DOP Teruel el que va a continuación y el convencional en último lugar.

El efecto del secado sobre la concentración de estos componentes sólo presenta diferencias estadísticamente significativas, al 95% de confianza, para el ácido graso hexanoico, concentrándose mayores niveles cuando el sistema de secado en el cámara.

La figura 79 muestra de forma global que los ácidos grasos detectados en el jamón son componentes poco significativos, por ser solamente detectables en el producto final en pequeñas concentraciones. Destacan el ácido graso hexanoico y el heptanoico.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

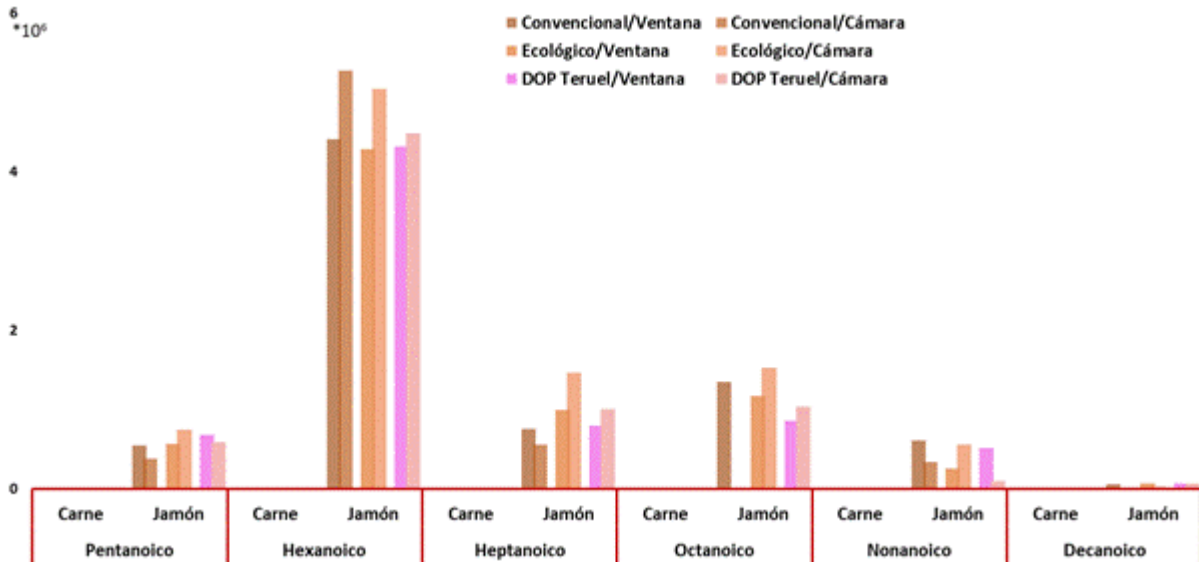


Figura 79. Presencia de ácidos grasos en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado.

El ácido pentaonico aparece en la muestra final, no habiéndose detectado en la carne. Esto se debe a que este ácido aparece en las fases de bodega, en este caso el madurado-envejecimiento que se lleva a cabo (Bermúdez *et al.*, 2014).

La tabla 39 muestra los resultados del análisis de la varianza multifactorial para el área del pico (valor multiplicado por 10⁶) obtenido de la cromatografía gaseosa de la familia química de familia de los compuestos heterocíclicos, así como de otros dos componentes puntuales, de naturaleza terpenoide como el alcanfor y la mentona (aroma a menta), en función de los dos momentos (inicial y final) del proceso de secado, en función de la procedencia y del tipo de secado. Además, se muestra el error estándar para cada uno de los resultados. En negrita aparecen los valores que presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Se trata de componentes que se han detectado tanto en la carne como en el jamón. Los compuestos heterocíclicos han presentado concentraciones estadísticamente significativas para todas las variables estudiadas. Según la procedencia se observa que las mayores concentraciones de estos componentes son para la ecológica. Son compuestos (γ -hexalactona, benzotiazol y γ -octalactona) que se concentran principalmente en la carne, y disminuyen significativamente en el jamón.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto del secado sobre la concentración de estos componentes muestra que los mayores niveles se obtienen cuando el sistema de secado es en la cámara.

Tabla 39. Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de heterocíclicos y otros componentes en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado.

Factores	Variables	Heterocíclicos			Otros componentes	
		γ -hexalactona	Benzotiazol	γ -octalactona	Alcanfor	Mentona
Procedencia	Convencional	1.01±0.17	1.27±0.27	0.66±0.28	10.48±3.08	1.88±0.18
	Ecológico	3.10±0.17	2.80±0.26	1.87±0.16	19.75±3.08	2.25±0.18
	DOP Teruel	1.44±0.18	1.66±0.25	1.08±0.18	27.59±3.08	1.99±0.17
Momento de curado	Recepción	3.16±0.15	3.36±0.22	1.96±0.19	37.65±2.52	2.85±0.15
	Final	0.53±0.13	0.46±0.21	0.45±0.15	0.90±2.52	1.22±0.14
Sistema de secado	Natural	1.21±0.15	1.49±0.21	0.92±0.19	17.81±2.52	1.80±0.15
	Cámara	2.49±0.14	2.33±0.21	1.49±0.15	2.07±2.52	2.29±0.14

El alcanfor es un componente que muestra valores que son más manifiestos en la carne, para prácticamente desaparecer en el jamón. Muestra diferencias estadísticamente significativas para la procedencia, siendo los valores más altos para la DOP Teruel con 27.59, seguidos de los del jamón ecológico y por último del convencional. Con el secado a ventana abierta se alcanzan mayores valores de alcanfor, aunque las diferencias no son significativas. La mentona sólo muestra diferencias significativas para el momento de secado y para el sistema de secado, observándose que las concentraciones son significativamente superiores en la carne frente a los que muestra el jamón y que bajo condiciones de secado en cámara se alcanzan mayores valores de este componente.

La figura 80 muestra de forma global que los compuestos heterocíclicos, del alcanfor y la mentona detectados en el jamón son componentes poco significativos, siendo más importantes en la carne. Destacan el alcanfor en la carne de procedencia de la DOP Teruel.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

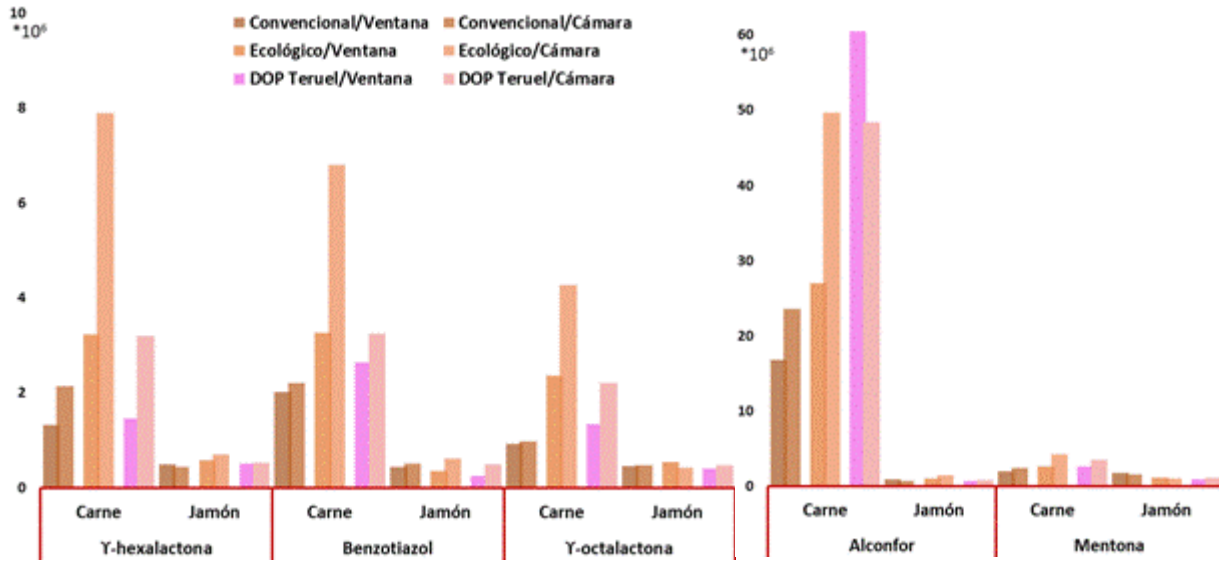


Figura 80. Presencia de componentes heterocíclicos, alcanfor y mentona en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado.

En algunos casos se observa que los valores de los componentes volátiles de la carne difieren en función del sistema de secado. Son valores que se deben a la propia variabilidad de la materia prima, ya que, en el momento inicial, todavía los perniles no han entrado al sistema de secado, pero en el momento inicial, a la recepción de la materia prima, se ha realizado la trazabilidad de las muestras y por ello aparecen las correspondientes piezas para cada sistema de secado. Estos datos son válidos para conocer las variaciones por pares que se producen en cada caso.

La presencia de estos compuestos es minoritaria, resultando difícil su obtención (Carrapiso y Carrapiso, 2005). Se obtienen principalmente de la reacción de Maillard.

La tabla 40 muestra las interacciones para los componentes de la fracción volátil, en función de los diferentes los factores estudiados, que han mostrado diferencias significativas al 95% de confianza. Se observa que la interacción que más aparece entre los componentes de la fracción volátil es “Procedencia x Momento”.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 40. Interacciones que presentan diferencias estadísticamente significativas, entre variables, para los componentes de la fracción volátil.

Componente	Cruce de interacción significativa
Limoneno	Procedencia x Momento
Carvona	Procedencia x Momento; Sistema de secado x Momento
Estragol	Procedencia x Momento
Anetol	Procedencia x Momento
3,5-octadien-2-ol	Procedencia x Momento; Sistema de secado x Momento; Procedencia x Sistema de secado
Hexanal	Procedencia x Sistema de secado
Heptanal	Procedencia x Momento; Sistema de secado x Momento; Procedencia x Sistema de secado
(Z)-2-heptenal	Procedencia x Momento; Sistema de secado x Momento
(E)-2-octenal	Procedencia x Momento; Sistema de secado x Momento; Procedencia x Sistema de secado
Nonanal	Procedencia x Momento; Sistema de secado x Momento; Procedencia x Sistema de secado
(E)-2-nonenal	Procedencia x Momento; Sistema de secado x Momento; Procedencia x Sistema de secado
Decanal	Procedencia x Momento; Sistema de secado x Momento
(E,E)-2,4-nonadienal	Procedencia x Momento; Sistema de secado x Momento
Anisaldehído	Procedencia x Momento
(E)-2-decanal	Procedencia x Momento; Sistema de secado x Momento; Procedencia x Sistema de secado
2-heptanona	Sistema de secado x Momento
Acetofenona	Procedencia x Momento
p-cimeno	Procedencia x Momento; Sistema de secado x Momento; Procedencia x Sistema de secado
Naftaleno	Procedencia x Momento; Sistema de secado x Momento
α-metilnaftaleno	Procedencia x Momento; Sistema de secado x Momento
Bifenilo	Procedencia x Momento; Sistema de secado x Momento
Undecano	Procedencia x Momento; Procedencia x Sistema de secado
Tetradecano	Procedencia x Momento
γ-hexalactona	Procedencia x Momento; Sistema de secado x Momento; Procedencia x Sistema de secado
Benzotiazol	Procedencia x Momento; Sistema de secado x Momento
γ-octalactona	Procedencia x Momento; Sistema de secado x Momento
Alcanfor	Procedencia x Momento
Mentona	Procedencia x Momento; Sistema de secado x Momento

La figura 81 muestra algunas de las interacciones, por ejemplo, se observa que la tendencia de concentración de limoneno, en función de la procedencia, es mayor para el caso de la DOP Teruel, le sigue, la procedencia ecológica y por último la convencional, esto se cumple para el caso de la carne, pero para el caso del jamón, la disminución significativamente de los niveles de este componente monoterpénico es mayor para la procedencia DOP Teruel, seguido de la ecológica y de la convencional, por lo que las concentraciones finales de este componente en el jamón, se invierte con respecto a las

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

detectadas en la carne de origen. Esta interacción se repite para componentes como la carvona y el estragol.

Se observa otro grupo de compuestos que presentan una tendencia similar a la del (Z)-2-heptenal (aroma a fritura y carne tostada) (figura 81), donde la tendencia se marca por una mayor concentración de este aldehído en la procedencia ecológica, seguido de la convencional y de la DOP Teruel. Esta tendencia global se cumple en el caso de la carne, pero con la disminución significativa que se sufre en el jamón, para este componente, la mayor concentración sigue siendo para el jamón ecológico, seguido de la DOP Teruel y por último el jamón convencional es el que concentra los menores contenidos de este componente. Esta interacción se observa también para componentes como el 3,5-octadien-2-ol, hexanal y heptanal.

Atendiendo al sistema de secado, se observan tendencias como la que le sucede al (E)-2-octenal, (aroma a fruta, rancio y fruta tropical) donde, las mayores concentraciones se alcanzan para el jamón ecológico, seguido del convencional y por último de la DOP Teruel, pero esta tendencia se manifiesta con el secado en cámara, ya que con el secado con el sistema en ventana abierta, el jamón ecológico sigue manteniendo las mayores concentraciones de este componente volátil, seguido de los jamones DOP Teruel y el convencional concentraría las menores valores de este aldehído (figura 81). Esta interacción se observa también en componentes como el 3,5-octadien-2-ol.

Otras interacciones observadas con el sistema de secado en función de la procedencia es la que sucede para el hexanal (figura 81), donde las mayores concentraciones se alcanzan para el jamón ecológico, seguido del convencional y por último de la DOP Teruel, pero esta tendencia se manifiesta con el secado en cámara, ya que para el secado con el sistema en ventana abierta, el jamón DOP Teruel es el que mantiene las menores concentraciones, mientras que el jamón convencional presenta las mayores concentraciones de este aldehído.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

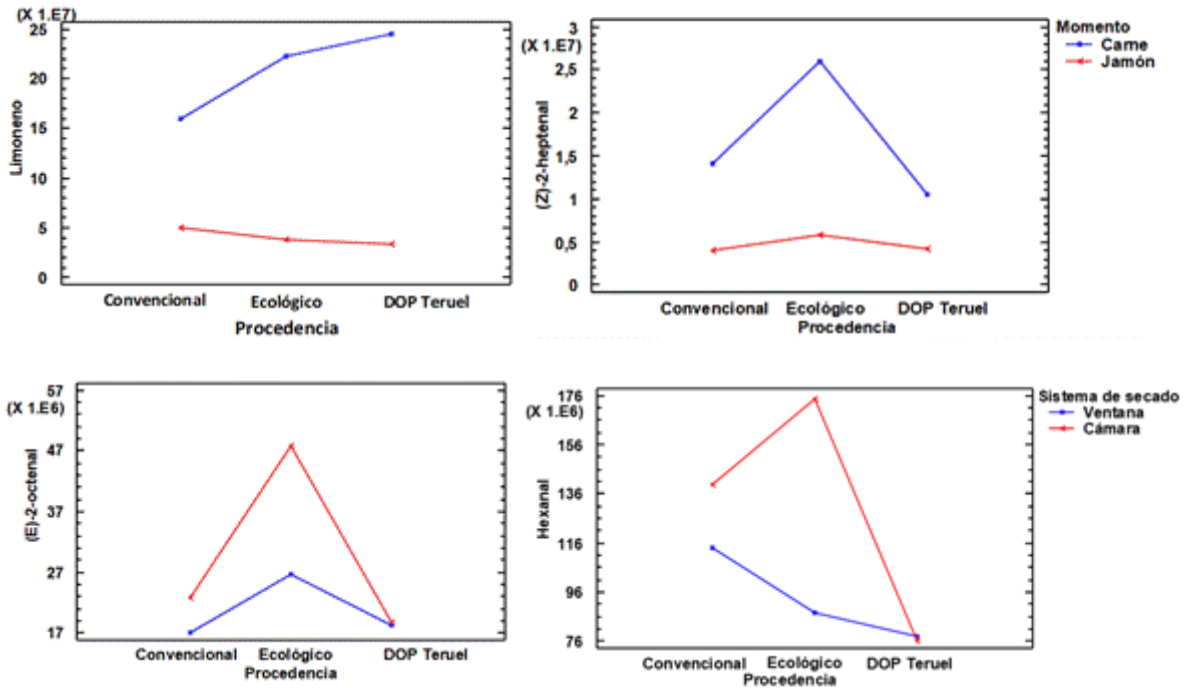


Figura 81. Interacciones entre procedencia y momento de secado para la fracción volátil de limoneno y (Z)-2-heptenal e interacciones entre procedencia y sistema de secado para la fracción volátil de (E)-2-octenal y hexanal.

La familia, de los componentes volátiles, mayoritaria en el producto final es la de los hidrocarburos coincidiendo con otros autores (Berdagué *et al.* 1991; García *et al.*, 1991; Toldrá *et al.*, 1997), pero difiriendo de otros que indican a los aldehídos o los ésteres como las familias mayoritarias (Ruiz *et al.*, 1999; Bolzoni *et al.*, 1996; Bermúdez *et al.*, 2014). Para la práctica totalidad de los compuestos, excepto casos puntuales, la producción ecológica y el jamón que de ella se deriva presenta los contenidos más altos, pudiendo explicarse por la no utilización de nitratos, ni nitritos, produciéndose una mayor oxidación de las grasas dando lugar a mayor contenido en hidroperóxidos que posteriormente se transforman en los diferentes compuestos volátiles, repercutiendo de esta forma en un flavor más intenso. En el caso de las proteínas se ha visto que los nitritos no influyen en la aparición de aldehídos procedentes de los aminoácidos (Cross y Ziegler, 1965).

El jamón secado bajo cámara presenta mayor proporción de compuestos volátiles que el secado en ventana, esto podría deberse a las altas temperaturas mantenidas a lo largo del día y la noche durante el tiempo de maduración y envejecimiento del jamón lo que hace que los fenómenos de oxidación

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

lipídica y degradación proteica ocurran de forma más intensa en comparación con el secado al natural, donde durante el día las temperaturas son elevadas, pero por la noche descienden, no permaneciendo constante a lo largo del día, ni de los días de duración del secado (Jurado *et al.*, 2007).

En el estudio de López-Mendoza (2011), llevado a cabo con jamones secados en cámara y en ventana se obtuvieron resultados significativos para la preferencia del jamón secado en ventana, donde se percibía un olor a curado, más intenso y más desmenuzable y jugoso, frente al secado en cámara, que se relacionaba con olor a frigorífico, salado, amargo, rancio y más fibroso y gomoso. Estos resultados guardan relación con lo obtenido en el presente estudio, ya que a pesar de que el producto secado al natural en general tiene menor contenido de compuestos volátiles que el secado en cámara, los que se encuentran de forma mayoritaria aportan notas aromáticas relacionadas con el mayor aroma a curado, puesto que el contenido de tolueno, que es uno de los compuestos que aporta este aroma, está en mayor cantidad cuando el jamón se seca al natural. En la tabla 41, se presentan los compuestos volátiles mayoritarios en el jamón secado en ventana y su relación con los aromas.

Tabla 41. Aromas mayoritarios en el jamón secado en ventana.

Compuesto volátil	Aroma
Tolueno	Curado
(E,E)-2,4-heptadienal	Grasa
Fenil-acetaldehído	Fruta, rancio, fruta tropical
α -pineno	Frutal, floral
Canfeno	Pungente, cítrico, picante
Pulegona	Menta, dulce, metálico
2-nonanona	Fruta, dulce, queso
Ácido nonanoico	Grasa
Ácido decanoico	Aceitoso, cítrico
α -linalol	Moscatel, fruta
Alcanfor	Acre
Acetato de octen-1-ol	Verde, fruta

Los compuestos volátiles presentan, en general, un contenido mayor en jamón de procedencia ecológica frente al convencional, incluyendo en este factor tanto la procedencia convencional como la DOP Teruel. Quizá la posible distorsión sea debida a que en el estudio estadístico se han incluido tanto el momento de la recepción (carne), como el momento final (jamón). En concreto son mayoritarios el

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

limoneno, el 1-8-cineol, hexanal, nonanal, tolueno y p-cimeno, compuestos que se relacionan con animales alimentados en régimen de extensivo que se alimentan de hierba (Cava *et al.*, 2000; Muriel *et al.*, 2004; Ventanas *et al.*, 2007; Ventanas *et al.*, 2010).

No se han encontrado estudios que aporten datos sobre el sistema de secado, excepto los realizados por Jurado *et al.* (2007) que destacan al acetaldehído como compuesto mayoritariamente presente en la carne de cerdos alimentados con pienso y el realizado por Melgar *et al.* (1991), que reportan mayor cantidad de acetaldehído y pentanal en jamones de bellota y recebo y más hexanal, heptanal y octanal en jamones procedentes de animales alimentados con pienso. En la tabla 42 se presentan los componentes mayoritarios de la fracción aromática, según el secado sea en ventana o cámara, exclusivamente en el momento final, es decir para el jamón curado. Estos datos, excepto el tolueno (por tener un valor muy elevado con respecto al resto que dificulta la interpretación gráfica), se representan en la figura 82. Se observa que a excepción del hexanal que es superior para el secado con ventana abierta, el resto de los componentes muestran tendencias similares, en función del sistema de secado.

Tabla 42. Componentes aromáticos mayoritarios en el jamón en función del tipo de secado, al natural o en cámara.

Componentes	Sistema de secado en ventana	Sistema de secado en cámara
β -pineno	29.10	29.98
Limoneno	40.00	40.31
1-octen-3-ol	14.21	12.09
Hexanal	28.54	0.00
(E)-2-octenal	9.63	8.53
Nonanal	9.75	9.40
2-nonanona	10.48	8.35
Tolueno	377.63	425.61
p-cimeno	42.04	39.86

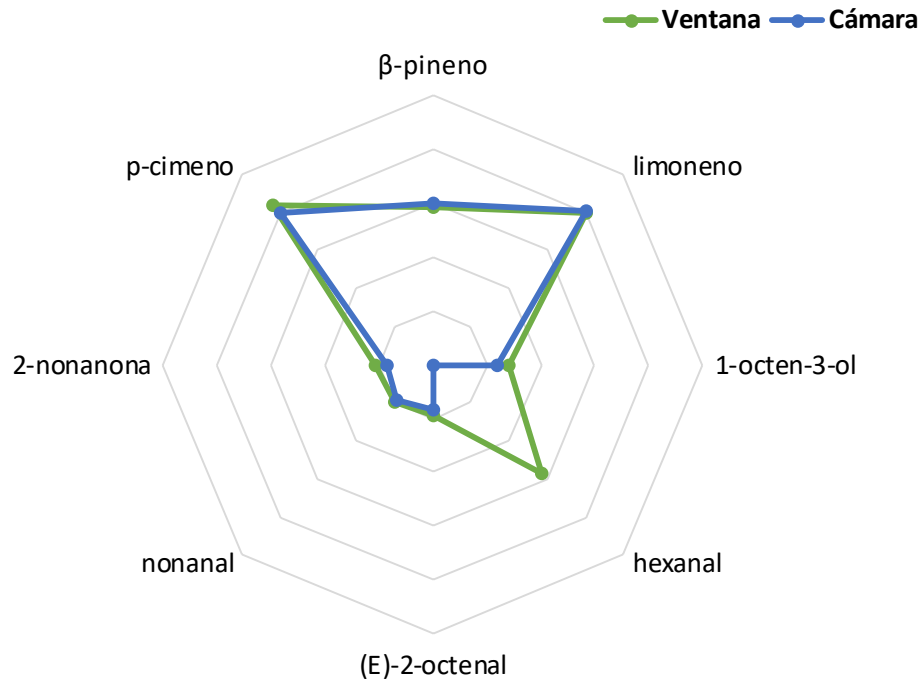


Figura 82. Componentes aromáticos mayoritarios en el jamón en función del sistema de secado, en cámara y en ventana.

4.2. RELACIONES ENTRE VARIABLES

En este apartado se van a estudiar las posibles relaciones simples entre los parámetros estudiados que han obtenido mayor grado de correlación y cuyos resultados son estadísticamente significativos (al 90% y 95% de confianza). Sólo se van a considerar las relaciones que alcancen un coeficiente de relación cercano o superior al valor de 0.2, por considerarse de mayor fuerza estadística. En la misma línea sólo se estudiarán las relaciones entre parámetros que sean independientes entre sí, por ello no se estudiarán las relaciones internas entre los ácidos grasos o entre los componentes de la fracción aromática.

El estudio de las relaciones entre los parámetros estudiados en la carne y jamón se ha llevado a cabo con el principal objetivo de establecer en qué medida se cuantifican las relaciones simples entre los diferentes parámetros. Para ello se ha planteado el estudio entre pares de parámetros, evaluando exclusivamente relaciones lineales entre pares y contemplando la totalidad de las muestras, en algunos casos se evalúan las posibles diferencias entre procedencia, momento de secado o sistema de secado.

4.2.1. Relaciones entre parámetros del color

En este apartado se analizan las relaciones simples, entre los parámetros de color (L^* , a^* , b^* , C^* y H^*) y el resto de variables. La tabla 43 muestra relaciones significativas y con un coeficiente de correlación cercano o superior al valor de 0.2 ($r^2 \geq 0.2$) de los pares estudiados, relacionados con el parámetro L^* de color (luminosidad), así como el modelo de regresión, el coeficiente de correlación y el nivel de explicación para cada caso.

Se observa un alto número de relaciones simples, donde uno de los pares es la luminosidad. Principalmente son importantes las relacionadas con los componentes de la fracción volátil. En general se observan relaciones positivas entre la luminosidad de la carne y jamón, y los contenidos en proteína, minerales totales o cenizas (figura 83), contenido en hierro, contenido en sodio y contenido en nitratos, de forma que a medida que aumenta la concentración de estos parámetros, aumenta también el valor de la luminosidad del jamón, siendo el contenido en cenizas el que presenta el mayor coeficiente de correlación y por sí mismo es capaz de explicar el 30.48% de la variabilidad del valor de la luminosidad del jamón.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 43. Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el parámetro L^* de color.

L^* Versus	Modelo de regresión	Coefficiente de correlación	Nivel de significación (p-value)	Nivel de explicación (%)
Humedad	$L^*=48.5288-0.208191*Humedad$	-0.3706	0.0000	13.73
Proteína	$L^*=31.5471+0.498444*Proteína$	0.4464	0.0000	19.92
Cenizas	$L^*=34.7658+1.54605*Cenizas$	0.5521	0.0000	30.48
Hierro	$L^*=37.2053+5.87811*Hierro$	0.2893	0.0004	8.37
Sodio	$L^*=37.4653+0.00244549*Sodio$	0.4130	0.0000	17.05
Nitratos	$L^*=40.6243+0.00958761*Nitratos$	0.3411	0.0604	11.64
Ac. Eicosanoico	$L^*=38.9622+2.72749*Eicosanoico$	0.1502	0.0932	2.26
Hexanoato de metilo	$L^*=39.8599-2.04575 E^{-7}*Hexanoato de metilo$	-0.5537	0.0092	30.66
Decanoato de etilo	$L^*=41.9017-5.2407 E^{-6}*Decanoato de etilo$	-0.6182	0.0028	38.21
Acetato de octen-1-ol	$L^*=38.0052+16.0301 E^{-6}*Acetato de octen-1-ol$	0.6375	0.0474	40.64
α-pineno	$L^*=41.2566-1.21054 E^{-7}*α-pineno$	-0.6449	0.0007	41.59
Canfeno	$L^*=40.5272-1.20095 E^{-7}*Canfeno$	-0.6375	0.0059	40.64
Limoneno	$L^*=41.4756-2.39553 E^{-8}*Limoneno$	-0.5906	0.0024	34.88
Pulegona	$L^*=35.9006+9.22614 E^{-6}*Pulegona$	0.8454	0.0166	71.46
Carvona	$L^*=41.888-6.80948 E^{-7}*Carvona$	-0.6169	0.0013	38.06
Estragol	$L^*=41.3195-1.65629 E^{-7}*Estragol$	-0.5351	0.0071	28.63
Anetol	$L^*=40.8833-6.13133 E^{-7}*Anetol$	-0.4445	0.0336	19.76
Hexanal	$L^*=43.7324-4.16745 E^{-8}*Hexanal$	-0.4957	0.0602	24.57
Heptanal	$L^*=41.2488-2.15567 E^{-7}*Heptanal$	-0.5837	0.0035	34.07
Nonanal	$L^*=41.0667-7.99243e^{-8}*Nonanal$	-0.5801	0.0030	33.65
Decanal	$L^*=42.8368-2.19111 E^{-6}*Decanal$	-0.6949	0.0002	48.29
Anisaldehído	$L^*=41.0814-9.61979 E^{-7}*Anisaldehído$	-0.5126	0.0248	26.28
(E)-2-decenal	$L^*=40.8007-7.08588 E^{-7}*(E)-2-decenal$	-0.5439	0.0060	29.59
Acetofenona	$L^*=41.4524-1.98718*E^{-6}acetofenona$	-0.6363	0.0011	40.49
p-cimeno	$L^*=41.5679-3.10785 E^{-8}*p-cimeno$	-0.5675	0.0038	32.31
Naftaleno	$L^*=41.0608-6.51069 E^{-7}*naftaleno$	-0.5171	0.0097	26.74
β-metilnaftaleno	$L^*=42.155-2.47988 E^{-6}*β-metilnaftaleno$	-0.5329	0.0276	28.40
α-metilnaftaleno	$L^*=41.44-6.57533 E^{-6}*α-metilnaftaleno$	-0.5752	0.0100	33.08
Bifenilo	$L^*=41.7958-12.5201 E^{-6}*Bifenilo$	-0.6130	0.0089	37.58
Undecano	$L^*=42.891-1.35654 E^{-6}*Undecano$	-0.5093	0.0218	25.94
Tridecano	$L^*=30.6963+7.49901 E^{-6}*Tridecano$	0.5869	0.0274	34.44
Tetradecano	$L^*=44.1009-10.5778 E^{-6}*Tetradecano$	-0.5416	0.0203	29.34
Ac. Pentanoico	$L^*=47.134-7.45787 E^{-6}*Pentanoico$	-0.5508	0.0990	30.33
Ac. Nonanoico	$L^*=38.0061+12.5247 E^{-6}*Nonanoico$	0.7895	0.0618	62.34
γ-hexalactona	$L^*=407406-1.18342 E^{-6}*γ-hexalactona$	-0.4817	0.0232	23.20
Benzotiazol	$L^*=41.9777-2.09481 E^{-6}*Benzotiazol$	-0.6900	0.0003	47.61
γ-octalactona	$L^*=41.3222-2.44087 E^{-6}*γ-octalactona$	-0.6811	0.0037	46.38
Alcanfor	$L^*=40.2315-9.95649 E^{-8}*Alcanfor$	-0.5498	0.0054	30.23
Mentona	$L^*=42.0661-1.78074 E^{-8}*Mentona$	-0.4709	0.0233	22.17

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Por el contrario, el contenido en agua se relaciona inversamente con el valor de la luminosidad, ya que cuando se incrementa los niveles de agua en la carne y jamón, la luminosidad disminuye (figura 83).

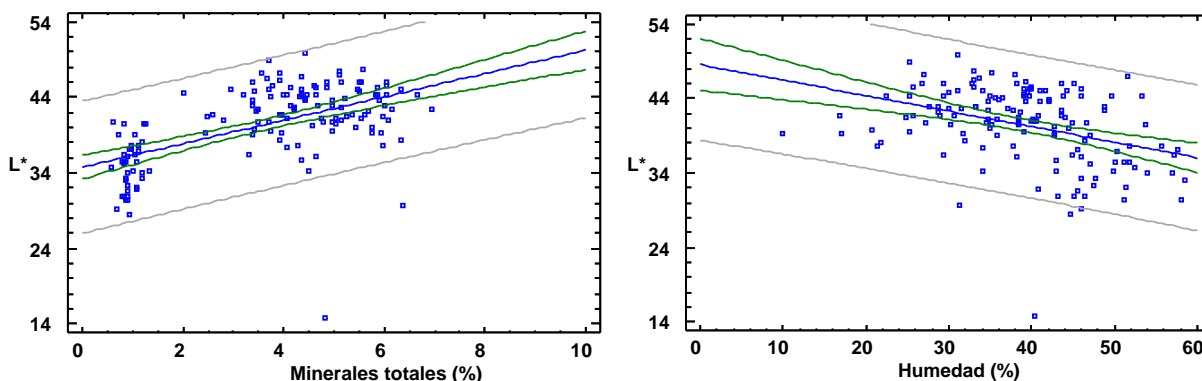


Figura 83. Modelo de regresión lineal ajustado entre la luminosidad y los minerales totales (izquierda) y la luminosidad y la humedad (derecha) en la carne y jamón.

En el grupo de los ácidos grasos presentes en la grasa de la carne y jamón sólo se ha detectado el ácido graso eicosanoico relacionado levemente con la luminosidad, incrementándose los valores de ésta cuando se incrementa la del ácido graso.

La correlación negativa observada con la luminosidad y la humedad supone que a menor contenido en agua los jamones van a presentar una luminosidad superior, relaciones que coinciden con los estudios realizados por otros autores (Latorre *et al.*, 2009). De las relaciones positivas con la proteína o el hierro, con el parámetro L^* , otros autores (Fuentes *et al.*, 2014) han encontrado tendencias similares, en cambio, difiere de lo encontrado en el estudio de correlaciones realizado por Bermúdez *et al.* (2015), donde la luminosidad y la sal muestran una correlación negativa de -0.496.

En el caso de la presencia de nitratos, un mayor contenido en ellos previene la decoloración de las muestras por la incidencia de la luz, lo cual se correlaciona de forma positiva con un mayor contenido de L^* (Arnau *et al.*, 2013) logrando antes el color deseado en productos donde se añaden sales nitrificantes, sobre todo nitritos (Gou *et al.*, 2012).

El grupo de la fracción volátil es el más importante relacionado con la luminosidad, además de los componentes aromáticos indicados en la tabla 41, también se han detectado relaciones significativas con el 1-octen-3-ol, (E)-2-nonenal (aroma a grasa), (E)-2-octenal y el tolueno, siendo estas últimas relaciones de menor significación. Se observa que para el acetato de octen-1-ol, pulegona, tridecano y

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

el ácido nonanoico, las relaciones son positivas, es decir, se incrementa la luminosidad de la carne y jamón a medida que se incrementan las concentraciones de estos componentes volátiles (figura 84). Especialmente importantes son las relaciones que se presentan con la pulegona y el ácido nonanoico, ya que presentan un elevado coeficiente de correlación y de forma individual la pulegona es capaz de explicar el 71.46% de la variabilidad de la luminosidad y el ácido nonanoico el 62.34% de la variabilidad de la luminosidad de la carne y jamón.

El resto de las relaciones muestra tendencias negativas, donde la luminosidad disminuye al incrementarse la fracción volátil (figura 84), el grado de explicación varía entre el 20 y 50% y los coeficientes de correlación, se encuentran entre el 0.5 y 0.7.

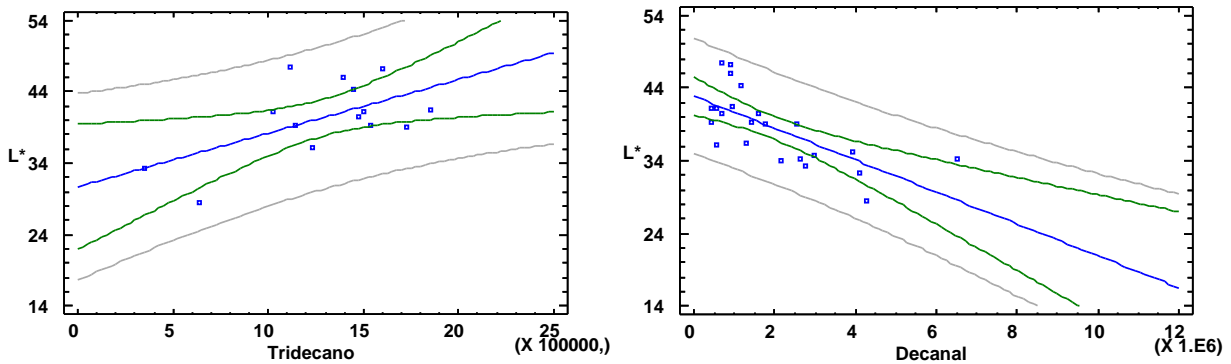


Figura 84. Modelo de regresión lineal ajustado entre la luminosidad y contenido en tridecano (izquierda) y la luminosidad y el contenido en decanal (derecha) en la carne y jamón.

La correlación positiva con ciertos compuestos volátiles como el acetato de octen-1-ol, la pulegona, el tridecano y el ácido nonanoico, puede ser debido a que la presencia de estos se asocia, en general, a la elevada oxidación de diferentes ácidos grasos, lo cual evitaría la alteración de otros componentes del jamón como puede ser la mioglobina, manteniendo así una luminosidad elevada.

En cambio, con otros compuestos volátiles la correlación es negativa, posiblemente debido a que la estabilidad de la mioglobina se ve afectada por la oxidación de las proteínas que aumenta conforme avanza el proceso de elaboración, esta oxidación dará un mayor contenido en compuestos volátiles, muchos de ellos formados a partir de reacciones secundarias con los ácidos grasos, dando lugar a un deterioro en el color (Fuentes *et al.*, 2014).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 44 muestra las relaciones significativas y con un coeficiente de correlación cercano o superior al valor de 0.2 de los pares estudiados relacionados con el parámetro a^* del color, así como el modelo de regresión, el coeficiente de correlación y el nivel de explicación para cada caso. Sólo se han encontrado siete relaciones estadísticamente significativas, dos relacionadas con los ácidos grasos y el resto con los componentes aromáticos.

El parámetro a^* está en coherencia con los valores de rojo en la escala CIELAB empleada como medida del color por lo que serían interesantes parámetros que incrementaran este índice del color.

Tabla 44. Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el parámetro a^* del color.

a^* Versus	Modelo de regresión	Coefficiente de correlación	Nivel de significación (p-value)	Nivel de explicación (%)
AGPI	$a^*=3.4878+0.535153*AGPI$	0.1818	0.0292	3.30
Linoleico	$a^*=3.55892+0.941558*Linoleico$	0.2075	0.0126	4.30
Anetol	$a^*=5.20021-2.58878e^{-7}*Anetol$	-0.4610	0.0268	21.25
1-hexanol	$a^*=1.12712+1.95208e^{-7}*1-hexanol$	0.5064	0.0930	25.64
1-octanol	$a^*=1.87861+9.71611e^{-8}*1-octanol$	0.4978	0.0996	24.78
Tolueno	$a^*=2.17122+6.41933e^{-9}*tolueno$	0.3504	0.0932	12.28
Tridecano	$a^*=1.57508+2.3314e^{-6}*tridecano$	0.4608	0.0972	21.24

Se observa que del grupo de la grasa existen dos relaciones positivas, aunque débiles, sólo explican entre el 3.30 y el 4.30 la variabilidad del parámetro a^* , donde al aumentar el contenido en ácido graso linoleico o el total de ácidos grasos poliinsaturados se incrementa el valor del parámetro a^* . Los componentes aromáticos se relacionan positivamente con el valor de a^* , excepto con el anetol. Destacan dos alcoholes (1-hexanol y 1-octanol) y dos alcanos (tolueno y tridecano) que en promedio están explicando aproximadamente un 20% de la variabilidad del parámetro a^* del color en la carne y jamón.

Igual que en el estudio de Fuentes *et al.* (2014), al aumentar la presencia de AGPI, se observa un aumento del valor a^* .

El aumento de la temperatura durante el procesado favorece la aparición del parámetro a^* , relacionado con rojo (Parolari *et al.*, 2016), lo que podría explicar la relación positiva entre este parámetro y la aparición de los compuestos volátiles que aumentan al avanzar en el secado.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La correlación negativa del valor a^* con el anetol se explicaría por el hecho de que la aparición y aumento de este compuesto puede afectar al estado de la mioglobina o a su cantidad, dando lugar a un valor de a^* menor.

La tabla 45 muestra las relaciones significativas y con un coeficiente de correlación cercano o superior al valor de 0.2 de los pares estudiados, relacionados con el parámetro b^* del color, así como el modelo de regresión, el coeficiente de correlación y el nivel de explicación para cada caso.

El parámetro b^* se asocia con los colores del azul al amarillo en el espacio CIELAB empleado para las mediciones del color. En este caso se trata de colores no deseables para el jamón. Se han encontrado un número elevado de relaciones con este parámetro. Por un lado, al aumentar el contenido en agua de la carne y del jamón se incrementa el valor del parámetro b^* . El resto de parámetros de composición se caracterizan por estar relacionados negativamente con el parámetro b^* , de manera que al incrementar el contenido en proteína, cenizas, hierro y sodio, se disminuye significativamente el valor del parámetro b^* (figura 85). Destaca el contenido en minerales totales o cenizas, por ser el que presenta el mayor nivel de explicación de la variabilidad de b^* , principalmente debido a lo que ocurre en el momento final, cuando el jamón ha alcanzado su total transformación (figura 85).

Del grupo de los lípidos destaca las relaciones significativas entre b^* y el índice de aterogenicidad y la concentración en el ácido graso erúcido. La primera negativa, disminuyendo el valor de b^* , al aumentar el valor del índice de calidad de la grasa y la segunda positiva. Por último, de las relaciones con los componentes de la fracción volátil detectados significativamente, todas son relaciones positivas, siendo destacables las del γ -octalactona y el decanal porque llegan a explicar de forma individual el 67.06% y el 48.40% de la variabilidad del parámetro b^* en la carne y el jamón.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 45. Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el parámetro b^* del color.

b^* Versus	Modelo de regresión	Coefficiente de correlación	Nivel de significación (p-value)	Nivel de explicación (%)
Humedad	$b^*=9.10986+0.0612937*\text{Humedad}$	0.2578	0.0018	6.64
Proteína	$b^*=15.2695-0.211984*\text{Proteína}$	-0.4486	0.0000	20.12
Cenizas	$b^*=13.6236-0.581658*\text{Cenizas}$	-0.4908	0.0000	24.09
Hierro	$b^*=12.8644-2.50229*\text{Hierro}$	-0.2910	0.0004	8.47
Sodio	$b^*=11.9511-0.000374596*\text{Sodio}$	-0.1495	0.0738	2.23
Índice de aterogenicidad	$b^*=12.5101-0.224978*\text{IA}$	-0.1520	0.0689	2.31
Ac. Erúcido	$b^*=11.7108+13.5278*\text{Erúcido}$	0.2096	0.0438	4.39
Hexanoato de metilo	$b^*=11.8748+1.03002 \text{ E}^{-7}*\text{Hexanoato de metilo}$	0.6902	0.0005	47.64
Decanoato de etilo	$b^*=11.5405+2.18007 \text{ E}^{-7}*\text{Decanoato de etilo}$	0.6381	0.0019	40.72
α-pineno	$b^*=11.9752+3.67302 \text{ E}^{-8}*\alpha\text{-pineno}$	0.5049	0.0119	25.49
Canfeno	$b^*=11.696+4.8903 \text{ E}^{-8}*\text{Canfeno}$	0.5877	0.0131	34.54
Limoneno	$b^*=11.8501+7.70403 \text{ E}^{-9}*\text{Limoneno}$	0.4901	0.0151	24.01
Carvona	$b^*=11.5972+0.4152 \text{ E}^{-7}*\text{Carvona}$	0.5646	0.0041	31.87
Estragol	$b^*=11.7122+6.3418 \text{ E}^{-8}*\text{Estragol}$	0.5287	0.0079	27.95
1-octen-3-ol	$b^*=11.8984+3.49477 \text{ E}^{-8}*\text{1-octen-3-ol}$	0.3664	0.0783	13.42
3,5-octadien-2-ol	$b^*=12.3754+6.23842 \text{ E}^{-8}*\text{3,5-octadien-2-ol}$	0.4804	0.0203	23.98
1-heptanol	$b^*=11.8908+7.88489 \text{ E}^{-8}*\text{1-heptanol}$	0.5315	0.0753	28.25
1-octanol	$b^*=11.891+9.31293 \text{ E}^{-8}*\text{1-octanol}$	0.5067	0.0927	25.68
Heptanal	$b^*=11.5612+9.27465 \text{ E}^{-8}*\text{heptanal}$	0.6572	0.0007	43.19
(Z)-2-heptenal	$b^*=11.7473+1.00294 \text{ E}^{-7}*(\text{Z})\text{-2-heptenal}$	0.5062	0.0116	25.62
(E,E)-2,4-heptadienal	$b^*=12.2593+8.18883 \text{ E}^{-8}*(\text{E,E})\text{-2,4-heptadienal}$	0.5540	0.0966	30.69
(E)-2-octenal	$b^*=11.7285+4.55336 \text{ E}^{-8}*(\text{E})\text{-2-octenal}$	0.5562	0.0058	30.94
Nonanal	$b^*=11.6294+3.56982 \text{ E}^{-8}*\text{Nonanal}$	0.6685	0.0004	44.69
(E)-2-nonenal	$b^*=11.2882+3.37807 \text{ E}^{-7}*(\text{E})\text{-2-nonenal}$	0.5948	0.0028	35.38
Decanal	$b^*=11.1595+8.80693 \text{ E}^{-7}*\text{Decanal}$	0.6957	0.0002	48.40
Benzaldehído	$b^*=11.8243+1.42812 \text{ E}^{-7}*\text{Benzaldehído}$	0.5542	0.0964	30.71
Acetofenona	$b^*=11.8176+6.96301 \text{ E}^{-7}*\text{Acetofenona}$	0.5749	0.0041	33.05
p-cimeno	$b^*=11.6039+1.20239 \text{ E}^{-8}*\text{p-cimeno}$	0.5665	0.0039	32.09
Naftaleno	$b^*=11.7046+2.73986 \text{ E}^{-7}*\text{Naftaleno}$	0.5614	0.0043	31.52
β-metilnaftaleno	$b^*=11.5192+8.47545 \text{ E}^{-7}*\beta\text{-metilnaftaleno}$	0.4607	0.0627	21.22
α-metilnaftaleno	$b^*=11.8277+2.33933 \text{ E}^{-6}*\alpha\text{-metilnaftaleno}$	0.5156	0.0238	26.59
Bifenilo	$b^*=11.5856+4.52097 \text{ E}^{-6}*\text{Bifenilo}$	0.5845	0.0137	34.17
Undecano	$b^*=11.0595+4.76447 \text{ E}^{-7}*\text{Undecano}$	0.5297	0.0163	28.06
Tetradecano	$b^*=10.8585+4.45479 \text{ E}^{-6}*\text{Tetradecano}$	0.5457	0.0192	29.78
γ-hexalactona	$b^*=11.6759+6.25343 \text{ E}^{-7}*\gamma\text{-hexalactona}$	0.6383	0.0014	40.75
Benzotiazol	$b^*=11.66+7.36811 \text{ E}^{-7}*\text{Benzotiazol}$	0.6128	0.0019	37.56
γ-octalactona	$b^*=11.1019+1.51728 \text{ E}^{-6}*\gamma\text{-octalactona}$	0.8189	0.0001	67.06
Alcanfor	$b^*=12.3+2.68799 \text{ E}^{-8}*\text{Alcanfor}$	0.3802	0.0668	14.46
Mentona	$b^*=11.4619+6.23145 \text{ E}^{-7}*\text{Mentona}$	0.4302	0.0405	18.51

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

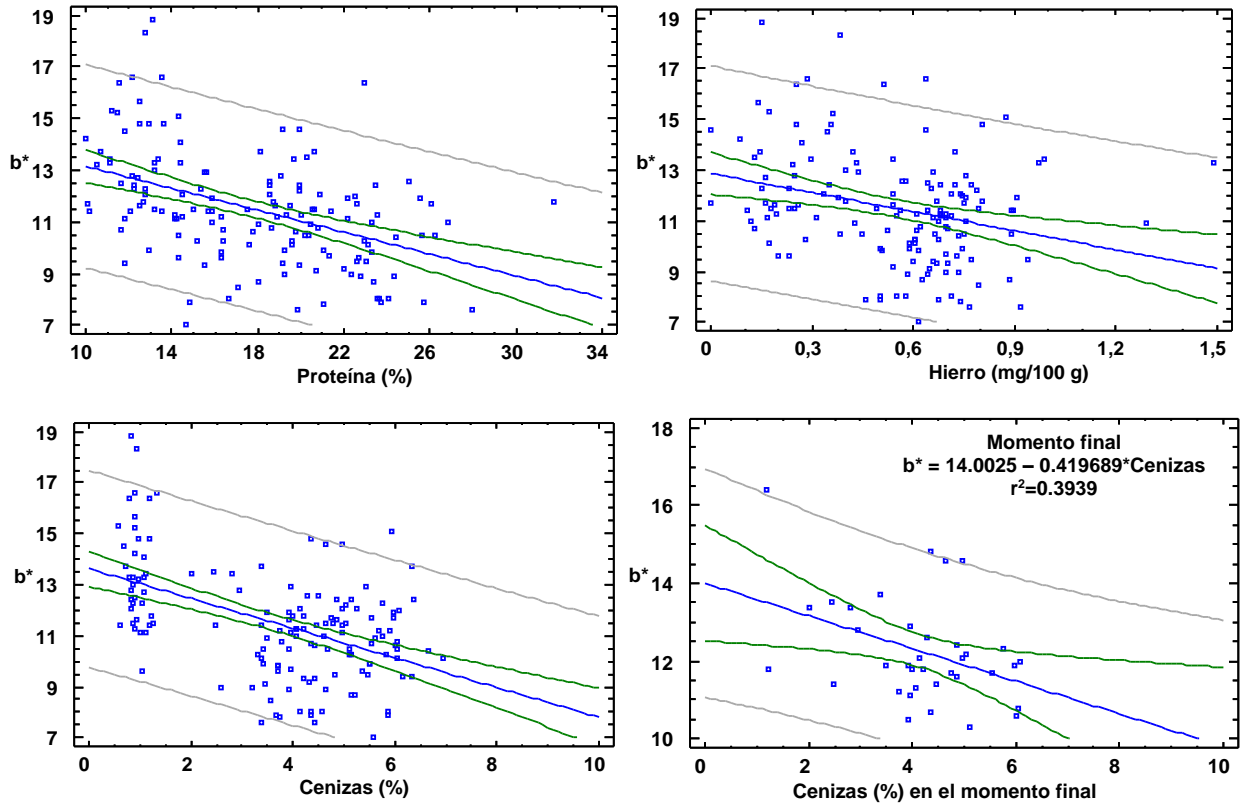


Figura 85. Modelo de regresión lineal ajustado entre el parámetro b^* y el contenido en proteína, hierro, cenizas y cenizas en el momento final en la carne y jamón.

La relación positiva encontrada entre el contenido en humedad y el parámetro b^* del color, coincide con los resultados del estudio realizado por Pérez-Palacios *et al.* (2010) y el llevado a cabo por Lorenzo *et al.* (2013), en pechuga de pavo curada, donde a lo largo del proceso disminuye el contenido acuoso y el valor de b^* , pero cuando este aumenta, como ocurre al final del proceso, también lo hace b^* .

La mayor presencia de aldehídos (en especial el decanal) y de compuestos heterocíclicos (sobre todo γ -octalactona) procedentes de la oxidación de lípidos, principalmente del oleico, disminuyen el valor de b^* dando tonalidades más azules, posiblemente debido a la transformación de estos lípidos en compuestos volátiles, reduciendo así el índice de amarillo que estos puedan aportar.

El aumento del IA trae consigo una disminución de b^* posiblemente por el mayor contenido en grasas saturadas lo que hace que el producto aumente la tonalidad blanco-azulada.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ácido graso erúxico, a pesar de estar en pequeño porcentaje en la materia prima muestra una relación positiva con el valor de b^* pudiendo deberse a que este ácido graso aporta tonalidades más amarillas a la grasa del producto.

La tabla 46 muestra las relaciones significativas y con un coeficiente de correlación cercano o superior al valor de 0.2 de los pares estudiados, relacionados con el parámetro del croma (C^*) o saturación del color, así como el modelo de regresión, el coeficiente de correlación y el nivel de explicación para cada caso.

El estudio de relaciones del parámetro del croma (C^*) frente al resto de parámetros independientes evaluados en el presente trabajo, muestra una respuesta muy similar a la del parámetro b^* . Así, al aumentar el contenido en agua de la carne y del jamón se incrementa el valor de C^* . El resto de parámetros de composición se caracterizan por estar relacionados negativamente con el parámetro b^* , de manera que, al incrementar el contenido en proteína, cenizas y hierro, se disminuye significativamente el valor de C^* . A diferencia se observa que el sodio ha perdido significación estadística y se produce la relación negativa con el contenido en nitritos, de manera que a medida que aumenta el contenido en nitritos en el jamón, disminuye el valor del croma, aunque el nivel de significación es bajo, el nivel de correlación también es bajo y la explicación que genera el modelo sólo es del 8.26%. Destaca la fuerza de la relación entre el contenido en minerales totales o cenizas y el valor de C^* , por ser el que presenta el mayor nivel de explicación de la variabilidad de C^* , de estos parámetros de composición del jamón.

Del grupo de los lípidos destaca las relaciones significativas entre C^* y el índice de aterogenicidad y las concentraciones en los ácidos grasos laurico y erúxico, siendo la relación con el índice de aterogenicidad negativa, disminuyendo el valor de C^* , al aumentar el valor del índice de calidad de la grasa y las relaciones con los ácidos grasos positivas. Por último, de las relaciones con los componentes de la fracción volátil, con respecto a las relaciones del parámetro b^* , han perdido la significación las relaciones con 1-octen-3-ol, (E,E)-2,4-heptadienal, β -metilnaftaleno, alcanfor y mentona y han aparecido nuevas relaciones significativas entre el C^* y 1-hexanol, (E,E)-2,4-nonadienal y (E)-2-decenal (aroma floral, a grasa, rosa y naranja).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 46. Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el croma (C*) del color.

C* Versus	Modelo de regresión	Coefficiente de correlación	Nivel de significación (p-value)	Nivel de explicación (%)
Humedad	$C^*=10.1269+0.0554683*Humedad$	0.2151	0.0096	4.63
Proteína	$C^*=16.1011-0.214333*Proteína$	-0,4182	0.0000	17.49
Cenizas	$C^*=14.4052-0.579365*Cenizas$	-0.4508	0.0000	20.32
Hierro	$C^*=13.6554-2.5044*Hierro$	-0.2685	0.0011	7.21
Nitritos	$C^*=11.9511-0.000374596*Nitritos$	-0.2875	0.1169	8.26
Índice de aterogenicidad	$C^*=13.4494-0.258243*IA$	-0.1609	0.0540	2.59
Ac. Laurico	$C^*=13.3137-8.60602*Laurico$	0.2096	0.0780	4.39
Ac. Erúcido	$C^*=12.4696+14.9128*Erúcido$	0.2128	0.0405	4.53
Hexanoato de metilo	$C^*=12.6428+1.04259 E^{-7}*Hexanoato de metilo$	0.6095	0.0034	37.14
Decanoato de etilo	$C^*=12.3503+2.24401 E^{-6}*Decanoato de etilo$	0.5790	0.0060	33.52
α-pineno	$C^*=12.8842+3.23141 E^{-8}*α-pineno$	0.3893	0.0600	15.16
Canfeno	$C^*=12.366+4.95324 E^{-8}*Canfeno$	0.5099	0.0365	26.00
Limoneno	$C^*=12.76+6.88301 E^{-9}*Limoneno$	0.3838	0.0641	14.73
Carvona	$C^*=12.5009+2.21975 E^{-7}*Carvona$	0.4548	0.0256	20.68
Estragol	$C^*=12.5773+5.98661 E^{-8}*Estragol$	0.4374	0.0326	19.13
3,5-octadien-2-ol	$C^*=13.0677+7.05429 E^{-8}*3,5-octadien-2-ol$	0.4729	0.0227	22.37
1-hexanol	$C^*=11.2909+2.24208 E^{-7}*1-hexanol$	0.5155	0.0862	26.58
1-heptanol	$C^*=12.1663+9.39459 E^{-8}*1-heptanol$	0.5286	0.0772	27.94
1-octanol	$C^*=12.1172+1.13475 E^{-8}*1-octanol$	0.5154	0.0864	26.56
Heptanal	$C^*=12.3787+9.07461 E^{-8}*Heptanal$	0.5632	0.0051	31.72
(Z)-2-heptenal	$C^*=12.5165+1.02944 E^{-7}*(Z)-2-heptenal$	0.4554	0.0253	20.74
(E)-2-octenal	$C^*=12.4899+4.56867 E^{-8}*(E)-2-octenal$	0.4859	0.0187	23.61
Nonanal	$C^*=12.4298+3.566732 E^{-8}*Nonanal$	0.5854	0.0027	34.27
(E)-2-nonenal	$C^*=12.1203+3.36492 E^{-7}*(E)-2-nonenal$	0.5207	0.0108	27.11
Decanal	$C^*=12.0112+8.67582 E^{-7}*Decanal$	0.6023	0.0024	36.28
(E,E)-2,4-nonadienal	$C^*=12.4776+5.74503 E^{-7}*(E,E)-2,4-nonadienal$	0.3589	0.0850	12.88
(E)-2-decenal	$C^*=12.5622+3.12433 E^{-7}*(E)-2-decenal$	0.5424	0.0062	29.42
Benzaldehído	$C^*=12.0117+1.72523 E^{-7}*Benzaldehído$	0.5533	0.0971	30.61
Acetofenona	$C^*=12.7299+6.33818 E^{-7}*Acetofenona$	0.4595	0.0274	21.12
p-cimeno	$C^*=12.4898+1.12128 E^{-8}*p-cimeno$	0.4630	0.0227	21.44
Naftaleno	$C^*=12.5291+2.68164 E^{-7}*Naftaleno$	0.4816	0.0172	23.20
α-metilnaftaleno	$C^*=12.7441+2.19229 E^{-6}*α-metilnaftaleno$	0.4179	0.0750	17.47
Bifenilo	$C^*=12.3515+4.47677 E^{-6}*Bifenilo$	0.4934	0.0442	24.34
Undecano	$C^*=11.9708+4.361097 E^{-7}*Undecano$	0.4128	0.0705	17.04
Tetradecano	$C^*=11.8529+4.294869 E^{-6}*Tetradecano$	0.4584	0.0557	21.01
γ-hexalactona	$C^*=12.4217+6.68055 E^{-7}*γ-hexalactona$	0.5829	0.0044	33.98
Benzotiazol	$C^*=12.5418+6.934441 E^{-7}*Benzotiazol$	0.5052	0.0139	25.53
γ-octalactona	$C^*=11.9061+1.59822 E^{-6}*γ-octalactona$	0.7689	0.0005	59.13

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todas las relaciones estadísticamente significativas identificadas con los componentes de la fracción volátil son positivas, siendo destacables las del γ -octalactona y el hexanoato de metilo porque llegan a explicar de forma individual el 59.13% y el 37.14% de la variabilidad del valor del croma en la carne y el jamón.

Igual que pasa con el valor de b^* , existe una relación positiva con el contenido en humedad, así jamones con mayor contenido en agua presentarán colores más vivos, limpios y menos apagados. La relación con el contenido en proteína es inversamente proporcional, así cuando el contenido de proteína es más alto, el valor de C^* disminuye, relaciones observadas por otros autores (Fuentes *et al.*, 2014).

Con el aumento de la concentración de nitritos disminuye C^* , posiblemente debido a que la homogeneidad del color en estos productos es menor (Lorés *et al.*, 2012), lo cual podría afectar al croma haciendo que apareciesen colores más apagados, pero con mayor valor de a^* (Adamsen *et al.*, 2006), favoreciendo la aceptación del producto por el consumidor (Morales *et al.*, 2013).

Sobre la relación con el IA, si esta es mayor, C^* disminuye puesto que los colores se van a tonos más azulados y apagados por la presencia de grasas saturadas.

Con la oxidación de las grasas se generan compuestos volátiles que repercuten en el color, en especial γ -octalactona y hexanoato de metilo en el caso de C^* , influyen de manera positiva en su aparición puesto que una mayor oxidación de lípidos para la generación de aromas da lugar a colores más vivos en el jamón.

La tabla 47 muestra las relaciones significativas y con un coeficiente de correlación cercano o superior al valor de 0.2 de los pares estudiados, relacionados con el parámetro del tono (H^*) o matiz del color, así como el modelo de regresión, el coeficiente de correlación y el nivel de explicación para cada caso. Este parámetro se relaciona con la pureza del color o la dominancia del mismo.

El número de relaciones estadísticamente significativas entre el valor de la tonalidad del color (H^*) y los diferentes parámetros estudiados es más bajo que las existentes con L^* , b^* y C^* . Y más alto que las encontrados para a^* .

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 47. Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el tono (H^*) del color.

H^* Versus	Modelo de regresión	Coefficiente de correlación	Nivel de significación (p-value)	Nivel de explicación (%)
Humedad	$H^*=1.12038+0.00292323*Humedad$	0.2220	0.0075	4.93
Cenizas	$H^*=1.27322-0.0106398*Cenizas$	-0.1621	0.0522	2.63
Hierro	$H^*=1.27754-0.0791606*Hierro$	-0.1662	0.0465	2.76
AGPI	$H^*=1.27547-0.037672*AGPI$	-0.1845	0.0268	3.40
Ac. Linoleico	$H^*=1.27029-0.0659704*Linoleico$	-0.2096	0.0117	4.39
Ac. Linolénico	$H^*=1.2496-0.0798307*Linolénico$	-0.1429	0.0874	2.04
α-pineno	$H^*=1.21052+2.01458 E^{-8}*\alpha\text{-pineno}$	0.4000	0.0530	15.98
Limoneno	$H^*=1.20368+4.22417 E^{-10}*Limoneno$	0.3879	0.0611	15.04
Carvona	$H^*=1.20405+1.05776 E^{-8}*Carvona$	0.3569	0.0869	12.74
Anetol	$H^*=1.17924+2.10488 E^{-8}*Anetol$	0.5641	0.0051	31.82
1-hexanol	$H^*=1.44629-9.43756 E^{-9}*1\text{-hexanol}$	-0.4431	0.1491	19.63
1-octanol	$H^*=1.41321-4.86321 E^{-9}*1\text{-octanol}$	-0.4510	0.1412	20.34
Anisaldehído	$H^*=1.18824+2.3754 E^{-8}*Anisaldehído$	0.4664	0.0441	21.76
Acetofenona	$H^*=1.21268+2.93112 E^{-8}*Acetofenona$	0.3493	0.1023	12.20
Tolueno	$H^*=1.44256-5.57567 E^{-10}*Tolueno$	-0.4698	0.0205	22.08
Tridecano	$H^*=1.52067-2.2632 E^{-7}*Tridecano$	-0.6548	0.0110	42.88
Alcanfor	$H^*=1.22244+2.25753 E^{-9}*Alcanfor$	0.4487	0.0279	20.13

Con los parámetros de composición, existen relaciones significativas entre H^* y el contenido en agua o humedad de la carne y jamón, con el contenido en cenizas o minerales totales y con el contenido en hierro. De forma que la relación con la humedad es positiva y con los elementos minerales negativa. Además, el nivel de explicación es bajo, aunque sigue la tendencia observada para el resto de parámetros de color, excepto para la luminosidad.

Con los parámetros de la grasa se observan tres relaciones estadísticamente significativas, con bajo grado de correlación y que de forma individual explican menos del 5% de la variabilidad del valor de H^* . Las tres relaciones tienen tendencia similar negativa y están relacionadas con los ácidos grasos poliinsaturados, de forma que a medida que aumentan estos parámetros de la carne y jamón disminuye la tonalidad del color (figura 86).

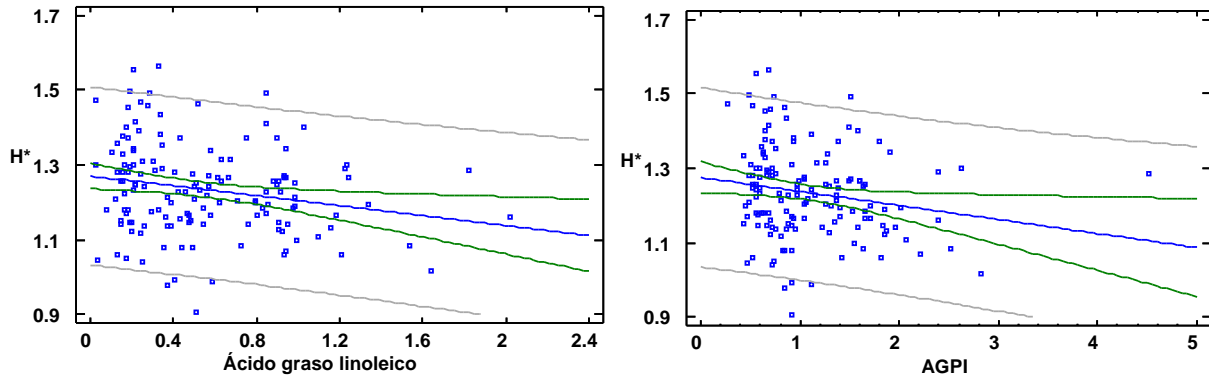


Figura 86. Modelo de regresión lineal ajustado entre el parámetro H* y el contenido en ácido graso linoleico y de ácidos grasos poliinsaturados en la carne y jamón.

Del resto de relaciones encontradas, destacar que cuatro de ellas se explican de forma negativa, con los alcoholes 1-hexanol y 1-octanol (con bajo nivel de significación) y con dos hidrocarburos (tolueno y tridecano). Las relaciones más potentes se producen entre el H* frente al anetol y frente al tridecano. Con el tridecano se llega a explicar casi el 43% de la variabilidad del H* y con el anetol se llega a explicar casi el 32% de la variabilidad de H* en la carne y jamón estudiados.

Los valores de H* se relacionan negativamente con la humedad, lo cual difiere de lo encontrado por Latorre *et al.* (2009), donde el menor valor de agua tiene el menor valor de H*, mostrando así una relación positiva. Pero coincide con los estudios realizados por Pérez-Palacios *et al.* (2010) donde el jamón refrigerado tiene el mayor valor de H* y de humedad frente a la materia prima previamente congelado cuyo valor de H* es menor y por consiguiente el de humedad, dejando así evidencia de la relación positiva.

El aumento en la presencia de AGPI provoca una disminución del tono en el producto, puesto que la mioglobina y el estado en el que ésta se encuentre será menos evidente, dando un color menos intenso.

4.2.2. Relaciones entre parámetros con la humedad

En este apartado se analizan las relaciones simples, entre la humedad de la carne y jamón con el resto de variables, excluidas las ya analizadas para los parámetros del color. La tabla 48 muestra las relaciones significativas y con un coeficiente de correlación cercano o superior al valor de 0.2 ($r^2 \geq 0.2$)

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

de los pares estudiados, relacionados con la humedad, así como el modelo de regresión, el coeficiente de correlación y el nivel de explicación para cada caso.

Se observa que, de las relaciones estadísticamente significativas diagnosticadas en el estudio, existe una estrecha relación entre el contenido en humedad y los de grasa, proteína y contenido en minerales totales o cenizas, y de forma particular con el contenido en sodio. Todas estas relaciones se caracterizan por tener una correspondencia negativa, de forma que todas se incrementan cuando disminuye el contenido en humedad de la carne y jamón. Destaca principalmente la relación con la grasa, porque permite explicar casi el 25% de la variabilidad del contenido en humedad.

La correlación negativa de la humedad con el resto de componentes de composición, conlleva un incremento de los componentes a lo largo del proceso conforme disminuye la humedad, así en las fases de salado y post-salado las pérdidas de agua pueden llegar hasta el 15% (Zumalacárregui, 1997), dando lugar a un aumento de proteínas, sodio (Bañón *et al.*, 1999; Lorenzo *et al.*, 2013; Parolari *et al.*, 2016), grasa y minerales conforme avanza el proceso (Larrea, 2003). En el estudio de correlaciones llevado a cabo por Bou *et al.* (2020) se observa también la correlación negativa entre la humedad y la grasa (-0.404), la proteína (-0.407) y el contenido en sal (relacionado con el Na), obteniendo un valor de -0.995, conclusión a la que también llega Larrea (2003) sobre el mayor contenido en sal sobre el producto, cuando disminuye la humedad.

La estrecha relación existente entre el contenido en humedad *versus* el contenido en grasa de la carne y jamón, se mantiene para cada una de las procedencias del jamón (convencional, ecológico y de la DOP Teruel (figura 87), en todos los casos la relación es estadísticamente significativa, con tendencia negativa, de manera que para el caso del jamón de procedencia convencional el modelo es capaz de explicar el 17.01% de la variabilidad de la humedad de los jamones de esta procedencia, para el caso de la procedencia ecológica explica el 22.57% y para el caso de los jamones de la procedencia DOP Teruel este modelo explica el 31.90% de la variabilidad del contenido en humedad de los jamones de esta procedencia.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 48. Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en humedad.

Humedad Versus	Modelo de regresión	Coefficiente de correlación	Nivel de significación (p-value)	Nivel de explicación (%)
Grasa	Humedad=53.0247-0.527412*Grasa	-0.4967	0.0000	24.67
Proteína	Humedad=51.7979-0.706231*Proteína	-0.3490	0.0000	12.18
Cenizas	Humedad=45.5273-1.82704*Cenizas	-0.3639	0.0000	13.24
Sodio	Humedad=43.23-0.00333437*Sodio	-0.2987	0.0000	8.92
Ac. Caproico	Humedad=45.1928+87.3518*Caproico	0.5410	0.0305	29.27
Hexanoato de metilo	Humedad=41.685+1.123 E ⁻⁷ *Hexanoato de metilo	0.2540	0.0412	6.45
Decanoato de etilo	Humedad=37.167+7.382 E ⁻⁶ *Decanoato de etilo	0.4570	0.0001	20.89
α-pineno	Humedad=37.5895+2.0391 E ⁻⁷ *α-pineno	0.5413	0.0000	29.30
Limoneno	Humedad=37.0472+4.19265 E ⁻⁸ *Limoneno	0.4990	0.0000	24.90
Carvona	Humedad=36.9626+9.6444 E ⁻⁷ *Carvona	0.4799	0.0000	23.03
Estragol	Humedad=37.5128+2.82446 E ⁻⁷ *Estragol	0.4275	0.0002	18.27
Anetol	Humedad=36.3726+1.27124 E ⁻⁶ *Anetol	0.4342	0.0004	18.85
3,5-octadien-2-ol	Humedad=35.998+2.3266 E ⁻⁷ *3,5-octadien-2-ol	0.4795	0.0000	22.99
Hexanal	Humedad=38.2349+4.80844 E ⁻⁸ *Hexanal	0.4625	0.0011	21.39
Heptanal	Humedad=39.0254+2.529 E ⁻⁷ *Heptanal	0.4032	0.0008	16.26
(Z)-2-heptenal	Humedad=38.4127+3.58203 E ⁻⁷ *(Z)-2-heptenal	0.3686	0.0014	13.59
(E,E)-2,4-heptadienal	Humedad=38.442+3.413 E ⁻⁷ *(E,E)-2,4-heptadienal	0.4539	0.0054	20.60
Anisaldehído	Humedad=37.63+1.6601 E ⁻⁶ *Anisaldehído	0.5262	0.0001	27.68
(E)-2-octenal	Humedad=37.8445+1.72219 E ⁻⁷ *(E)-2-octenal	0.4461	0.0001	19.90
Nonanal	Humedad=39.085+8.6808 E ⁻⁸ *Nonanal	0.4046	0.0004	16.37
(E)-2-nonenal	Humedad=37.4822+9.41741 E ⁻⁷ *(E)-2-nonenal	0.3728	0.0019	13.90
Decanal	Humedad=38.5976+1.69211 E ⁻⁷ *Decanal	0.3701	0.0015	13.70
(E)-2-decenal	Humedad=38.9809+9.34448 E ⁻⁷ *(E)-2-decenal	0.4096	0.0004	16.78
2-heptanona	Humedad=39.6505+2.41118 E ⁻⁷ *2-heptanona	0.3706	0.0014	13.73
Acetofenona	Humedad=37.3621+3.14294 E ⁻⁶ *Acetofenona	0.5386	0.0000	29.01
p-cimeno	Humedad=37.4177+4.76411 E ⁻⁸ *p-cimeno	0.4528	0.0001	20.50
Naftaleno	Humedad=37.9776+1.02975 E ⁻⁶ *Naftaleno	0.4347	0.0001	18.90
α-metilnaftaleno	Humedad=39.2808+2.53032 E ⁻⁶ *α-metilnaftaleno	0.3889	0.0053	15.12
β-metilnaftaleno	Humedad=37.56+9.012 E ⁻⁶ *β-metilnaftaleno	0.5184	0.0001	26.87
Bifenilo	Humedad=35.8637+1.81514 E ⁻⁶ *Bifenilo	0.5539	0.0000	30.68
Undecano	Humedad=37.4702+1.3867 E ⁻⁶ *Undecano	0.2974	0.0199	8.85
Tridecano	Humedad=46.027-5.43516 E ⁻⁶ *Tridecano	-0.2936	0.0503	8.62
Tetradecano	Humedad=35.3157+1.41535 E ⁻⁶ *Tetradecano	0.3634	0.0043	13.20
Ac. Hexanoico	Humedad=19.6639+3.62598 E ⁻⁶ *Ac. Hexanoico	0.3305	0.0646	10.93
γ-hexalactona	Humedad=39.1559+1.58668 E ⁻⁶ *γ-hexalactona	0.3429	0.0064	11.76
Benzotiazol	Humedad=37.6534+2.18459 E ⁻⁶ *Benzotiazol	0.5050	0.0000	25.61
γ-octalactona	Humedad=37.5535+2.71115 E ⁻⁶ * γ-octalactona	0.4179	0.0043	17.46
Alcanfor	Humedad=39.2618+1.63635 E ⁻⁷ *Alcanfor	0.4398	0.0001	19.34
Mentona	Humedad=34.906+3.52143 E ⁻⁶ *Mentona	0.4647	0.0001	21.59

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

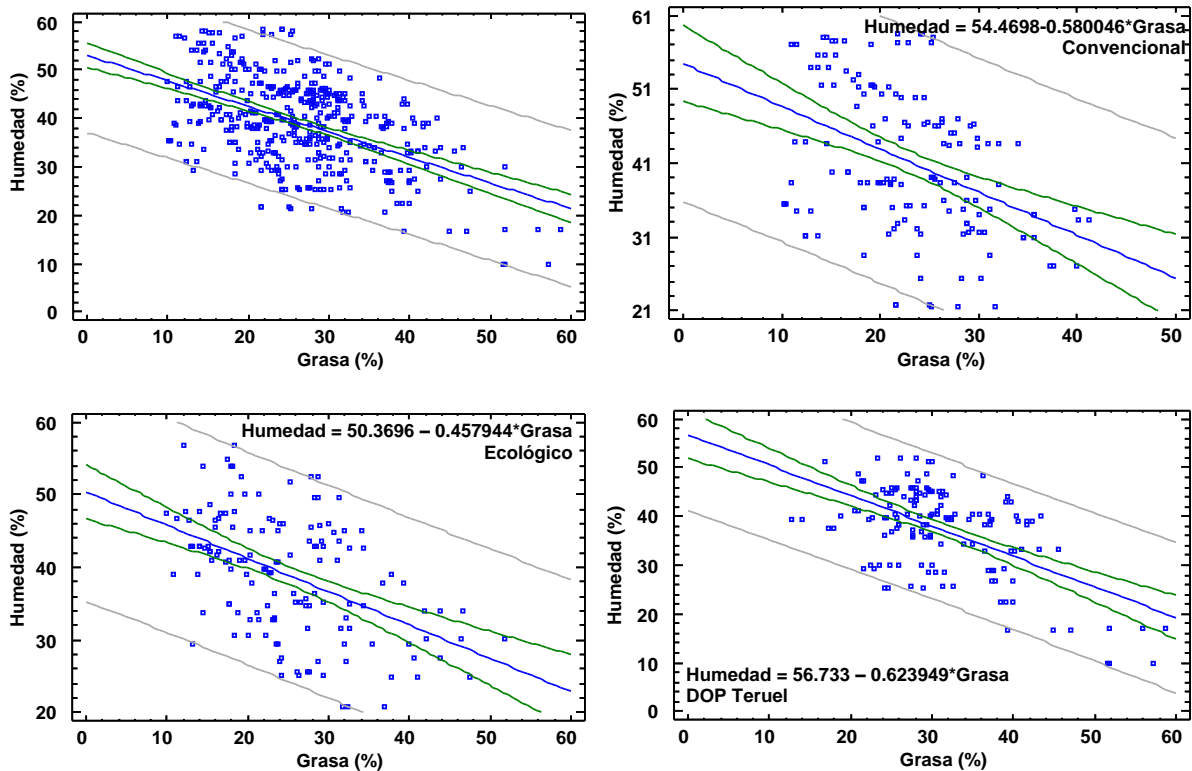


Figura 87. Modelo de regresión lineal ajustado entre el contenido en humedad y el contenido en grasa en la carne y jamón, para el total y para cada una de las procedencias.

Si el contenido en grasa es elevado el de humedad es bajo (Bañón *et al.*, 1999), dificultando así la difusión de la sal hacia el interior (Hugas *et al.*, 1987) y haciendo que los niveles de agua total aumenten, lo cual podría suponer un factor que favorezca los defectos en jamón. La difusión del agua en el jamón es más lenta en aquellos jamones que tienen mayor contenido en grasa tanto intramuscular como subcutánea. En función del tipo de jamón se observa que el jamón DOP Teruel es el que mayor nivel de explicación (31.90%) presenta respecto a la variabilidad de los datos de humedad, posiblemente debido a que es el producto que mayor contenido en grasa tiene (31.27 mg/100 g), seguido de la procedencia ecológica (contenido en grasa de 24.95 mg/100 g), y con un modelo de regresión que explica el 22.75% de la variabilidad del contenido en humedad del jamón y por último, la procedencia convencional (contenido en grasa de la materia prima 23.10 mg/100 g) y un nivel de explicación de la variabilidad del 17.01%.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el caso de la proteína la relación, estadísticamente significativa para el total de los datos, es capaz de explicar el 12.18% de la variabilidad del contenido en humedad, y en función de las diferentes procedencias (figura 88) se observa, en todos los casos, la misma tendencia negativa, de forma que en el caso de la procedencia convencional el modelo explica el 21.86% de la variabilidad, para la procedencia ecológica se explica el 18.06% y con la procedencia del DOP Teruel se explica sólo el 7.23% de la variabilidad del contenido en humedad de la carne y jamón.

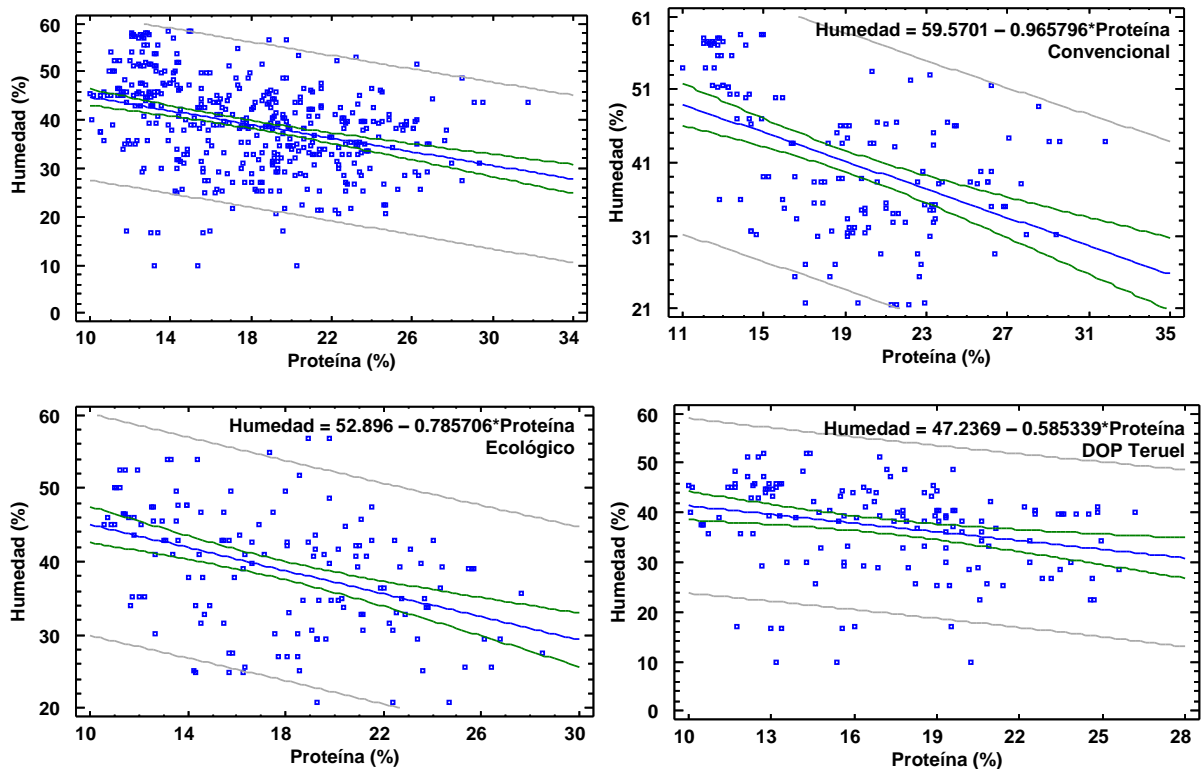


Figura 88. Modelo de regresión lineal ajustado entre el contenido en humedad y el contenido en proteína en la carne y jamón, para el total y para cada una de las procedencias.

La fuerte relación existente entre el contenido en humedad *versus* grasa y proteína, se mantiene independientemente del sistema de secado (figura 89). Observándose una estrecha relación entre la humedad y el contenido en grasa, cuando el secado se realiza en condiciones de cámara, llegando a explicar el 30.5% de la variabilidad del contenido en agua de la carne y jamón.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

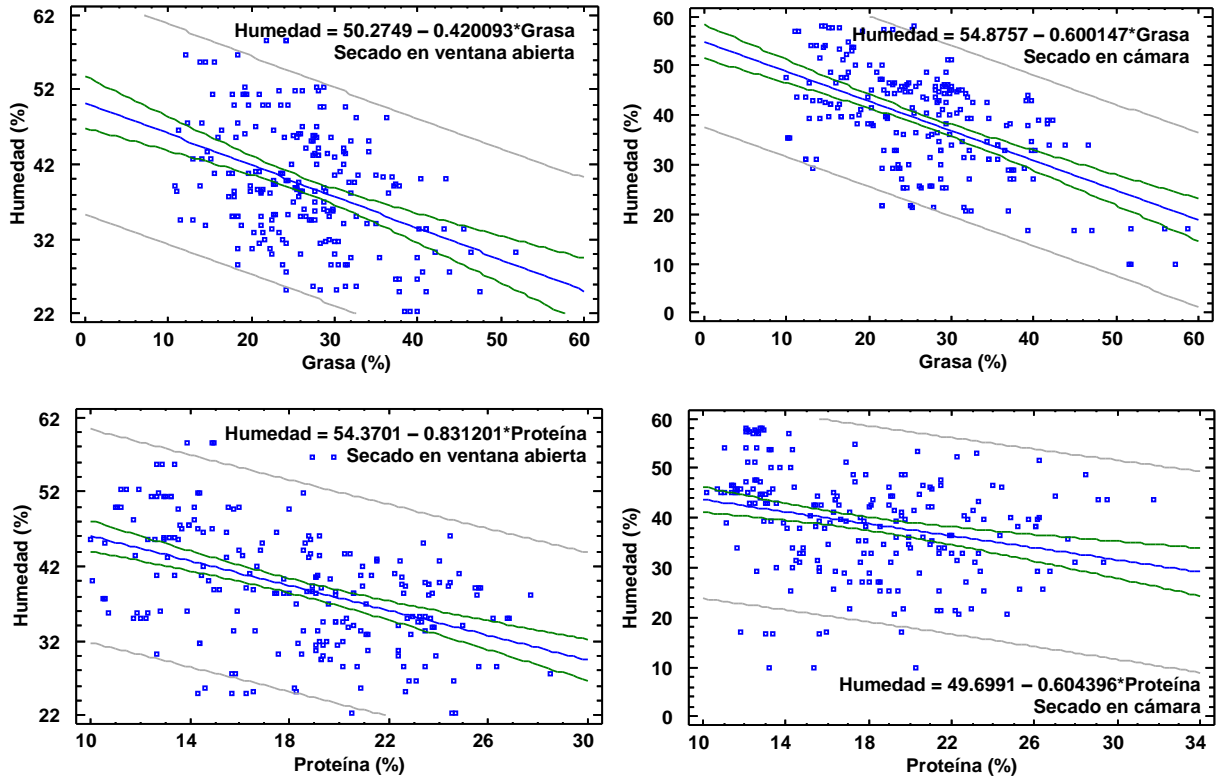


Figura 89. Modelo de regresión lineal ajustado entre el contenido en humedad *versus* el contenido en grasa y proteína en la carne y jamón, en función del sistema de secado.

En cuanto al secado, si este se realiza en cámara, el contenido en humedad es mayor, como también se observa en el estudio de Martín *et al.* (2001).

De los componentes de la grasa solamente se ha encontrado una relación estadísticamente significativa, existente con el ácido caproico, de forma que se trata de una relación positiva capaz de explicar el 29.27% de la variabilidad del contenido en agua de la carne y del jamón. Por la alta implicación que tiene el contenido en agua en el proceso de secado, los perniles con menor contenido en este ácido graso podrían tener mejores condiciones para el secado. Respecto a la relación positiva del ácido caproico con la humedad, no es un ácido graso muy detectado y aquellos que lo han encontrado la relación que se podría establecer sería negativa, suponiendo un valor más bajo cuando la humedad es más alta (Echenique *et al.*, 2009).

De los componentes de la fracción volátil que han mostrado relaciones estadísticas significativas, se observa que todas son positivas, excepto la mostrada con tridecano, es decir que la práctica totalidad

de los componentes se incrementan al aumentar los contenidos en agua, posiblemente porque se trata, por lo general, de componentes solubles o parcialmente solubles en agua, y por ello su movilidad va a depender de la concentración en agua. Destaca el bifenilo, porque de forma individual es capaz de explicar el 30.68% del contenido en agua de la carne y jamón.

La relación positiva que se establece entre la humedad y la formación de compuestos volátiles se observa también en el estudio llevado a cabo por Pérez-Juan *et al.* (2006) donde vieron cómo el centro del jamón con 7 meses de curación tenía el contenido más elevado de humedad y por consiguiente de formación de compuestos volátiles.

4.2.3. Relaciones entre parámetros con la grasa

En este apartado se analizan las relaciones simples, entre la grasa de la carne y jamón con el resto de variables, excluidas las ya analizadas para los parámetros del color y humedad, vinculadas a la grasa. Las tablas 49 y 50 muestran las relaciones significativas y con un coeficiente de correlación cercano o superior al valor de 0.2 ($r^2 \geq 0.2$) de los pares estudiados, relacionados con la grasa *versus* los parámetros de composición, los ácidos grasos y los ésteres, terpenos y alcoholes de la fracción volátil (tabla 49) y para el resto de la fracción volátil (tabla 50), así como el modelo de regresión, el coeficiente de correlación y el nivel de explicación para cada caso.

Se observa que existen un alto número de relaciones estadísticamente significativas que tienen en común la alineación con el contenido en grasa. Con los parámetros de composición la relación existente entre la grasa y el contenido en sodio es positiva, aunque el coeficiente de correlación no es alto y tampoco el nivel de significación. Con el contenido en nitratos se observa una relación negativa, de forma que al aumentar el nivel de grasa disminuye el de nitratos, posiblemente esta relación negativa pueda estar relacionada con la naturaleza química de los nitratos que son sustancias altamente solubles en agua. Al igual de lo que ocurre para el contenido en sodio, el coeficiente de correlación obtenido para la relación entre la grasa y los nitratos no es alto y tampoco el nivel de significación, que en este caso llega a explicar el 8.34% de la variabilidad del contenido en grasa de la carne y el jamón.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 49. Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en grasa *versus* los parámetros de composición, los ácidos grasos y los ésteres, terpenos y alcoholes de la fracción volátil.

Grasa <i>Versus</i>	Modelo de regresión	Coefficiente de correlación	Nivel de significación (p-value)	Nivel de explicación (%)
Sodio	Grasa=22.8181+0.00291497*Sodio	0.2771	0.0000	7.68
Nitratos	Grasa=36.4015-0.028074*Nitratos	-0.2889	0.0050	8.34
Ac. Butírico	Grasa=26.3727-43.7624*Butírico	-0.5732	0.0129	32.86
Ac. Laurico	Grasa=32.7407-46.6371*Laurico	-0.1794	0.0016	3.22
Ac. Eicosanoico	Grasa=23.359+7.65308*Eicosanoico	0.2151	0.0001	4.63
Ac. Behénico	Grasa=31.4581-93.1367*Behénico	-0.1812	0.0003	3.28
Ac. Lignocérico	Grasa=29.2837-59.7617*Lignocérico	-0.3053	0.0000	9.32
Hexanoato de metilo	Grasa=29.195-1.467 E ⁻⁷ *Hexanoato de metilo	-0.2810	0.0245	7.89
Decanoato de etilo	Grasa=32.368-6.550 E ⁻⁶ *Decanoato de etilo	-0.3428	0.0052	11.75
Heptanoato de etilo	Grasa=25.08-3.3402 E ⁻⁷ *Heptanoato de etilo	-0.4205	0.0730	17.68
Acetato de octen-1-ol	Grasa=47.3505-5.507 E ⁻⁶ *Acetato de octen-1-ol	-0.5762	0.0013	33.20
α-pineno	Grasa=31.7105-1.7102 E ⁻⁷ *α-pineno	-0.3917	0.0007	15.35
Canfeno	Grasa=31.3551-1.73685 E ⁻⁷ *Canfeno	-0.4207	0.0015	17.70
Allo-ocimeno	Grasa=39.1322-1.76956 E ⁻⁶ *Allo-ocimeno	-0.4081	0.0280	16.65
Pulegona	Grasa=46.7598-1.93755 E ⁻⁶ *Pulegona	-0.5302	0.0093	28.11
Terpinoleno	Grasa=39.8249-4.40274 E ⁻⁶ *Terpinoleno	-0.5157	0.0059	26.60
Carvona	Grasa=33.3518-1.01483 E ⁻⁶ *Carvona	-0.4334	0.0002	18.78
Estragol	Grasa=31.9942-2.51162 E ⁻⁷ *Estragol	-0.3289	0.0051	10.80
Anetol	Grasa=33.3825-1.22517 E ⁻⁶ *Anetol	-0.3545	0.0051	12.57
1-octen-3-ol	Grasa=33.143-1.97788 E ⁻⁷ *1-octen-3-ol	-0.3491	0.0028	12.19
3,5-octadien-2-ol	Grasa=29.3779-1.2644 E ⁻⁷ *3,5-octadien-2-ol	-0.2346	0.0506	5.50
1-heptanol	Grasa=25.283-1.05669 E ⁻⁷ *1-heptanol	-0.3579	0.0321	12.81
1-octanol	Grasa=25.5727-1.40337 E ⁻⁷ *1-octanol	-0.4035	0.0147	16.28

Las relaciones entre los niveles de grasa y la fracción lipídica muestran tendencias negativas entre los ácidos grasos que han mostrados pauta de significación estadística, excepto para el ácido graso eicosanoico. Los niveles de correlación entre estos parámetros no son altos, y tampoco los niveles de explicación del modelo, excepto para el caso del butírico.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 50. Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en grasa *versus* aldehídos, cetonas, alcanos, ácidos grasos y resto de la fracción volátil.

Grasa <i>Versus</i>	Modelo de regresión	Coefficiente de correlación	Nivel de significación (p-value)	Nivel de explicación (%)
Hexanal	Grasa=33.9576-6.19569 E ⁻⁸ *Hexanal	-0.5937	0.0000	35.25
Heptanal	Grasa=32.2108-3.13804 E ⁻⁷ *Heptanal	-0.4293	0.0004	18.43
(Z)-2-heptenal	Grasa=32.2449-4.13594 E ⁻⁷ *(Z)-2-heptenal	-0.3664	0.0017	13.43
(E,E)-2,4-heptadienal	Grasa=29.575-3.321 E ⁻⁷ *(E,E)-2,4-heptadienal	-0.3414	0.0448	11.65
(E)-2-octenal	Grasa=32.9753-1.93875 E ⁻⁷ *(E)-2-octenal	-0.4409	0.0001	19.44
Nonanal	Grasa=31.3434-9.70559 E ⁻⁸ *Nonanal	-0.3904	0.0008	15.24
(E)-2-nonenal	Grasa=34.1929-1.257 E ⁻⁶ *(E)-2-nonenal	-0.4265	0.0004	18.19
Decanal	Grasa=31.2301-1.57123 E ⁻⁶ *Decanal	-0.2979	0.0123	8.87
(E,E)-2,4-nonadienal	Grasa=31.995-2.001 E ⁻⁶ *(E,E)-2,4-nonadienal	-0.2531	0.0345	6.40
Anisaldehído	Grasa=30.2808-1.25083 E ⁻⁶ *anisaldehído	-0.3423	0.0130	11.72
(E)-2-decenal	Grasa=31.4852-1.04931 E ⁻⁶ *(E)-2-decenal	-0.3963	0.0006	15.70
(E,E)-2,4-decadienal	Grasa=36.356-1.667 E ⁻⁶ *(E,E)-2,4-decadienal	-0.3570	0.0326	12.74
2-hexenal	Grasa=26.344-1.15672 E ⁻⁶ *2-hexenal	-0.3319	0.0480	11.02
2-heptanona	Grasa=29.9235-1.98221 E ⁻⁷ *2-heptanona	-0.2630	0.0267	6.92
Acetofenona	Grasa=31.8665-2.82075 E ⁻⁶ *Acetofenona	-0.4036	0.0008	16.29
p-cimeno	Grasa=33.1063-5.23125 E ⁻⁸ *p-cimeno	-0.4295	0.0002	18.44
Naftaleno	Grasa=32.293-1.08358 E ⁻⁶ *Naftaleno	-0.3951	0.0006	15.61
α-metilnaftaleno	Grasa=28.8674-1.91697 E ⁻⁶ *α-metilnaftaleno	-0.2699	0.0607	7.28
β-metilnaftaleno	Grasa=31.5943-7.78199 E ⁻⁶ *β-metilnaftaleno	-0.3837	0.0042	14.72
Bifenilo	Grasa=32.7569-1.47845 E ⁻⁶ *Bifenilo	-0.3803	0.0064	14.46
Undecano	Grasa=33.4617-1.74998 E ⁻⁶ *Undecano	-0.3192	0.0129	10.19
3-metiltridecano	Grasa=43.168-3.97673 E ⁻⁶ *3-metiltridecano	-0.3610	0.0359	13.03
Tetradecano	Grasa=37.2535-2.02855 E ⁻⁶ *Tetradecano	-0.4315	0.0006	18.62
Ac. Hexanoico	Grasa=60.5172-6.28475 E ⁻⁶ *Ac. Hexanoico	-0.3659	0.0430	13.38
Ac. Octanoico	Grasa=45.7717-8.46587 E ⁻⁶ *Ac. Octanoico	-0.4238	0.0310	17.86
Ac. Nonanoico	Grasa=41.4427-2.75082 E ⁻⁶ *Ac. Nonanoico	-0.5677	0.0218	32.23
γ-hexalactona	Grasa=31.9064-1.96523 E ⁻⁶ *γ-hexalactona	-0.3760	0.0028	14.14
Benzotiazol	Grasa=32.1445-2.15168 E ⁻⁶ *Benzotiazol	-0.4271	0.0003	18.24
γ-octalactona	Grasa=35.0436-3.80147 E ⁻⁶ * γ-octalactona	-0.4816	0.0009	23.19
Alcanfor	Grasa=30.1014-1.23932 E ⁻⁷ *Alcanfor	-0.2919	0.0135	8.52
Mentona	Grasa=36.19-3.89486 E ⁻⁶ *Mentona	-0.4581	0.0001	20.99

Para la totalidad de los componentes de la fracción volátil, que han sido estadísticamente significativas, se observa tendencias negativas con el contenido en grasa, de forma que al disminuir los niveles de grasa, aumentan las concentraciones detectadas de los componentes aromáticos, esto pone de manifiesto la importancia de la grasa como conductora de los aromas del jamón. Los componentes

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

que más influyen en la explicación de los respectivos modelos de regresión son el acetato de octen-1-ol (33.20%) que se caracteriza por tener un olor fresco con notas terrosas, el hexanal (35.25%), que también se caracteriza por los olores a frutas y el ácido nonanoico, que es un componente relacionado con aromas rancios en el jamón. Otros aromas que disminuyen significativamente al aumentar la grasa en el jamón es la pulegona (aroma mentolado) y el terpinoleno (relacionado con los procesos de envejecimiento de la madera).

Del contenido en grasa, es importante conocer que tipo de ácidos grasos están implicados en las relaciones con la fracción aromática. Este estudio se ha realizado de forma conjunta para el total de ácidos grasos saturados, para los monoinsaturados y para el total de ácidos grasos poliinsaturados.

La tabla 51 muestra las relaciones significativas y con un coeficiente de correlación cercano o superior al valor de 0.2 ($r^2 \geq 0.2$) de los pares estudiados, relacionados con los ácidos grasos saturados (AGS) *versus* los componentes de la fracción volátil, así como el modelo de regresión, el coeficiente de correlación y el nivel de explicación para cada caso.

Tabla 51. Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en AGS *versus* la fracción volátil.

AGS <i>Versus</i>	Modelo de regresión	Coefficiente de correlación	Nivel de significación (p-value)	Nivel de explicación (%)
Acetato de octen-1-ol	AGS=76.671-2.685 E ⁻⁶ *Acetato de octen-1-ol	-0.4587	0.0123	21.04
Allo-ocimeno	AGS=66.057+8.767 E ⁻⁶ *Allo-ocimeno	0.3765	0.0403	14.17
Pulegona	AGS=78.0758-9.45712 E ⁻⁶ *Pulegona	0.3597	0.0843	12.94
1,8-cineol	AGS=77.4718-2.83268 E ⁻⁸ *1,8-cineol	-0.3853	0.0203	14.84
α-linalol	AGS=77.6225-4.57457 E ⁻⁷ *α-linalol	-0.6515	0.0001	42.44
1-octen-3-ol	AGS=69.3513+7.312 E ⁻⁸ *1-octen-3-ol	0.1977	0.0960	3.91
Hexanal	AGS=64.9516+3.62353 E ⁻⁸ *Hexanal	0.3759	0.0092	14.13
(Z)-2-heptenal	AGS=69.539+1.657 E ⁻⁷ *(Z)-2-heptenal	0.2237	0.0589	5.01
Fenilacetaldehído	AGS=78.46-5.306 E ⁻⁶ *Fenilacetaldehído	-0.3324	0.0476	11.05
(E)-2-octenal	AGS=69.6942+5.9697 E ⁻⁸ *(E)-2-octenal	0.2043	0.0874	4.17
2-heptanona	AGS=70.2242+1.01163 E ⁻⁷ *2-heptanona	0.2040	0.0857	4.16
Tridecano	AGS=64.7973+4.208 E ⁻⁶ *Tridecano	0.2598	0.0847	6.75
Tetradecano	AGS=68.6298+7.13896 E ⁻⁶ *Tetradecano	0.2545	0.0497	6.48
Ac. Hexanoico	AGS=53.5401+3.60515 E ⁻⁶ *Ac. Hexanoico	0.3275	0.0673	10.72
Ac. Nonanoico	AGS=77.9798-1.93792 E ⁻⁶ *Ac. Nonanoico	-0.4644	0.0699	21.57
γ-octalactona	AGS=69.2597+1.29503 E ⁻⁶ *γ-octalactona	0.3011	0.0445	9.06

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observa un menor número de relaciones estadísticamente significativas, siendo para el caso del acetato de octen-1-ol, 1,8-cineol, α -linalol, fenilacetaldehído ácido nonanoico, relaciones negativas, es decir que la fracción de ácidos grasos disminuye porque la de estos compuestos aumenta, y para el resto de los compuestos con valor estadístico, relaciones positivas (figura 90).

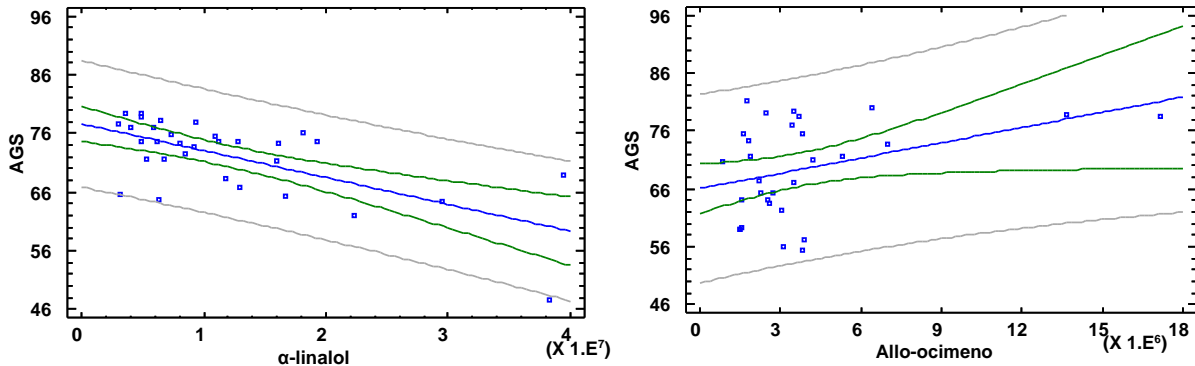


Figura 90. Modelo de regresión lineal ajustado entre el contenido en ácidos grasos saturados *versus* el contenido en α -linalol y allo-ocimeno en la carne y jamón.

Excepto para el caso del α -linalol y el ácido nonanoico, donde las relaciones presentan coeficientes con valor medio-alto, y el modelo es capaz de explicar el 42.44% y el 21.57% respectivamente, de la variabilidad del contenido en ácidos grasos saturados, para el resto de relaciones, los modelos encontrados son relativamente débiles.

La tabla 52 muestra las relaciones significativas y con un coeficiente de correlación cercano o superior al valor de 0.2 ($r^2 \geq 0.2$) de los pares estudiados, relacionados con los ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) *versus* los componentes de la fracción volátil, así como el modelo de regresión, el coeficiente de correlación y el nivel de explicación para cada caso.

Se observa mayor número de relaciones estadísticamente significativas que las encontradas para los AGS. La gran mayoría de las relaciones son negativas, excepto las encontradas con el acetato de octen-1-ol, pulegona, 1,8-cineol, α -linalol, fenilacetaldehído y el ácido nonanoico. Todas son relaciones leves, excepto la del α -linalol que presenta un coeficiente de correlación alto y el modelo resultante es capaz de explicar el 41.57% de la variabilidad de los ácidos grasos monoinsaturados de la carne y el jamón, de forma que a medida que aumenta la fracción de estos ácidos grasos, aumentan los contenidos en α -linalol.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 52. Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en AGMI *versus* la fracción volátil.

AGMI <i>Versus</i>	Modelo de regresión	Coefficiente de correlación	Nivel de significación (p-value)	Nivel de explicación (%)
Decanoato de etilo	AGMI=29.66-2.871 E ⁻⁶ *Decanoato de etilo	-0.2271	0.0667	5.16
Acetato de octen-1-ol	AGMI=22.468+2.677 E ⁻⁶ *Acetato de octen-1-ol	0.4509	0.0141	20.33
Allo-ocimeno	AGMI=33.223-91.672 E ⁻⁶ *Allo-ocimeno	-0.3877	0.0343	15.03
Pulegona	AGMI=20.9915+9.47411 E ⁻⁶ *Pulegona	0.3552	0.0885	12.62
1,8-cineol	AGMI=20.2222+3.00326 E ⁻⁸ *1,8-cineol	0.4009	0.0154	16.07
α-linalol	AGMI=20.432+4.57598 E ⁻⁷ *α-linalol	0.6447	0.0001	41.57
1-octen-3-ol	AGMI=29.9196-1.00652 E ⁻⁷ *1-octen-3-ol	-0.2634	0.0254	6.94
3,5-octadien-2-ol	AGMI=28.1302-7.6029 E ⁻⁸ *3,5-octadien-2-ol	-0.2049	0.0865	4.20
Hexanal	AGMI=34.2622-4.2697 E ⁻⁸ *Hexanal	-0.4220	0.0031	17.80
Heptanal	AGMI=28.6145-1.09894 E ⁻⁷ *Heptanal	-0.2236	0.0711	5.00
(Z)-2-heptenal	AGMI=29.4716-2.10492 E ⁻⁷ * (Z)-2-heptenal	-0.2750	0.0194	7.56
(E,E)-2,4-heptadienal	AGMI=27.435-2.148 E ⁻⁷ * (E,E)-2,4-heptadienal	-0.3226	0.0550	10.40
Fenilacetaldehído	AGMI=20.5257+5.361 E ⁻⁶ *Fenilacetaldehído	0.3308	0.0487	10.95
(E)-2-octenal	AGMI=29.267-7.69672 E ⁻⁸ * (E)-2-octenal	-0.2546	0.0322	6.48
Nonanal	AGMI=28.4653-3.4312 E ⁻⁸ *Nonanal	-0.2031	0.0871	4.12
(E)-2-nonenal	AGMI=29.5697-4.52172 E ⁻⁷ * (E)-2-nonenal	-0.2288	0.0626	5.29
(E)-2-decenal	AGMI=28.6866-4.20666 E ⁻⁷ * (E)-2-decenal	-0.2341	0.0477	5.48
2-heptanona	AGMI=28.7502-1.42238 E ⁻⁷ *2-heptanona	-0.2776	0.0182	7.71
Ac. Hexanoico	AGMI=46.2845-3.7719 E ⁻⁶ *Ac. Hexanoico	-0.3377	0.0587	11.40
Ac. Nonanoico	AGMI=21.3421+1.89346 E ⁻⁶ *Ac. Nonanoico	0.4504	0.0800	20.29
γ-hexalactona	AGMI=30.2224-7.73373 E ⁻⁷ *γ-hexalactona	-0.2170	0.0902	4.71
γ-octalactona	AGMI=29.7469-1.52344 E ⁻⁶ * γ-octalactona	-0.3466	0.0197	12.01

La tabla 53 muestra las relaciones significativas y con un coeficiente de correlación cercano o superior al valor de 0.2 ($r^2 \geq 0.2$) de los pares estudiados, relacionados con los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) *versus* los componentes de la fracción volátil, así como el modelo de regresión, el coeficiente de correlación y el nivel de explicación para cada caso.

Se trata de la fracción de ácidos grasos contenidos en la grasa de la carne y jamón que más relaciones significativas presenta. Se observa que todas son positivas, es decir, que la fracción de cualquiera de los componentes volátiles que han mostrado significación se incrementa cuando se incrementa la concentración de ácidos grasos poliinsaturados, lo que pone de manifiesto la importancia de esta fracción grasa para el desarrollo de los componentes volátiles del jamón. En concreto la familia de componentes volátiles que más nivel de significación han mostrado en la relación simple con los ácidos

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

grasos poliinsaturados ha sido la de los aldehídos y cetonas, destacando la 2-heptanona y la (E,E)-3,5-octadien-2-ona que además presentan un nivel de explicación alto (aproximadamente del 23%). Destaca también el ácido octanoico, porque el modelo obtenido es capaz de explicar el 21.57% de la variabilidad de los ácidos grasos poliinsaturados. El resto de relaciones muestra niveles de explicación medio-bajos.

Tabla 53. Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en AGPI *versus* la fracción volátil.

AGPI <i>Versus</i>	Modelo de regresión	Coefficiente de correlación	Nivel de significación (p-value)	Nivel de explicación (%)
α-pineno	AGPI=0.79072+7.08913 E ^{-9*} α-pineno	0.3136	0.0073	9.84
Canfeno	AGPI=0.808561+7.09345 E ^{-9*} Canfeno	0.2881	0.0329	8.30
Limoneno	AGPI=0.793565+1.28319 E ^{-9*} Limoneno	0.2545	0.0309	6.48
1-octen-3-ol	AGPI=0.630466+1.19848 E ^{-8*} 1-octen-3-ol	0.4116	0.0003	16.95
1-hexanol	AGPI=0.754623+2.84697 E ^{-8*} 1-hexanol	0.2832	0.0942	8.02
Hexanal	AGPI=0.628359+2.72036 E ^{-9*} Hexanal	0.3271	0.0248	10.70
Heptanal	AGPI=0.847504+9.20912 E ^{-9*} Heptanal	0.2406	0.0517	5.79
(Z)-2-heptenal	AGPI=0.73855+1.99707 E ^{-8*} (Z)-2-heptenal	0.3425	0.0032	11.73
(E,E)-2,4-heptadienal	AGPI=0.8296+1.776 E ^{-8*} (E,E)-2,4-heptadienal	0.3948	0.0172	15.59
(E)-2-octenal	AGPI=0.781537+6.79423 E ^{-9*} (E)-2-octenal	0.2933	0.0130	8.60
Nonanal	AGPI=0.855816+2.65998 E ^{-9*} Nonanal	0.2066	0.0816	4.27
(E)-2-nonenal	AGPI=0.817718+3.10024 E ^{-8*} (E)-2-nonenal	0.2035	0.0985	4.14
(E)-2-decenal	AGPI=0.847159+3.01908 E ^{-8*} (E)-2-decenal	0.2205	0.0627	4.86
(E,E)-2,4-decadienal	AGPI=0.715+3.3979 E ^{-7*} (E,E)-2,4-decadienal	0.2872	0.0848	8.25
2-heptanona	AGPI=0.748+1.8939 E ^{-8*} 2-heptanona	0.4851	0.0000	23.54
(E,E)-3,5-octadien-2-ona	AGPI=0.4497+5.698 E ^{-8*} (E,E)-3,5-octadien-2-ona	0.4743	0.0035	22.49
Acetofenona	AGPI=0.7986+8.992 E ^{-8*} Acetofenona	0.2651	0.0302	7.03
p-cimeno	AGPI=0.8089+1.418 E ^{-9*} p-cimeno	0.2247	0.0578	5.05
Bifenilo	AGPI=0.7476+3.603 E ^{-7*} Bifenilo	0.2429	0.0858	5.90
3-metiltridecano	AGPI=0.6272+5.9094 E ^{-7*} 3-metiltridecano	0.2893	0.0919	8.37
Ac. Octanoico	AGPI=0.5371+1.632 E ^{-7*} Ac. Octanoico	0.4647	0.0146	21.57
γ-hexalactona	AGPI=0.816+6.537 E ^{-8*} γ-hexalactona	0.2812	0.0269	7.90
γ-octalactona	AGPI=0.7536+8.186 E ^{-8*} γ-octalactona	0.3398	0.0224	11.55

La mayor presencia de relaciones negativas de los AGMI con los compuestos volátiles, frente a los AGS, se podría explicar por el hecho que la mayoría de los compuestos que se forman proceden del ácido oleico, así pues, el aumento de este ácido graso supone una disminución de los AGMI que actúan como precursores.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La relación positiva entre la presencia de grasa y el contenido de sal también se observa en el estudio realizado por Bou *et al.* (2020). La presencia de sal actúa inhibidora de las reacciones enzimáticas, haciendo que los contenidos en grasa sean superiores al no haber entrado en procesos de degradación secundarios que dan lugar a compuestos aromáticos. En ese mismo estudio de correlaciones también se observa que la grasa tiene una relación negativa con el perfil de ácidos grasos, pero en este caso solo para los AGS y los AGMI, ya que los AGPI presentan una relación positiva.

La relación negativa con los compuestos aromáticos evidencia que la degradación de las grasas es el origen de la formación de numerosos compuestos volátiles de forma directa tras reacciones de oxidación secundaria o mediante la interacción con otros componentes como los procedentes de la degradación proteica.

El mayor contenido en AGS influye en la formación de compuestos volátiles, así un contenido excesivo de este tipo de grasa repercutiría en una menor generación de flavor y aromas en el producto final.

4.2.4. Relaciones entre parámetros con la proteína

En este apartado se analizan las relaciones simples, entre la proteína de la carne y jamón con el resto de variables, excluidas las ya analizadas para los parámetros del color, humedad y grasa, vinculadas a la proteína.

Las tablas 54 y 55 muestran las relaciones significativas y con un coeficiente de correlación cercano o superior al valor de 0.2 ($r^2 \geq 0.2$) de los pares estudiados, relacionados con la proteína *versus* los parámetros de composición, los ésteres, terpenos y alcoholes de la fracción volátil (tabla 54) y para el resto de la fracción volátil (tabla 55), así como el modelo de regresión, el coeficiente de correlación y el nivel de explicación para cada caso.

No aparecen relaciones con los ácidos grasos porque ninguno de los modelos estudiados ha sido estadísticamente significativo, a los niveles de significación (5 y 10%) evaluados.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 54. Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en proteína versus los parámetros de composición, los ésteres, terpenos y alcoholes de la fracción volátil.

Proteína Versus	Modelo de regresión	Coefficiente de correlación	Nivel de significación (p-value)	Nivel de explicación (%)
Cenizas	Proteína=12.8775+1.45146*Cenizas	0.5849	0.0000	34.21
Hierro	Proteína=13.7567+8.31867*Hierro	0.3865	0.0000	14.94
Sodio	Proteína=14.7435+0.00261596*Sodio	0.4741	0.0000	22.48
Nitratos	Proteína=15.1207+0.0256046*Nitratos	0.6240	0.0000	38.94
Hexanoato de metilo	Proteína=16.69-7.799 E ⁻⁸ *Hexanoato de metilo	-0.3170	0.0101	10.05
Decanoato de etilo	Proteína=19.157-4.543 E ⁻⁶ *Decanoato de etilo	-0.4925	0.0000	24.26
Acetato de octen-1-ol	Proteína=13.535+2.41 E ⁻⁶ *Acetato de octen-1-ol	0.5724	0.0012	32.76
p-xileno	Proteína=14.5103+4.5297 E ⁻⁶ *p-xileno	0.3413	0.0416	11.65
α-pineno	Proteína=18.4439-1.02946 E ⁻⁷ *α-pineno	-0.4920	0.0000	24.21
Canfeno	Proteína=17.5708-9.2315 E ⁻⁸ *Canfeno	-0.4908	0.0001	34.09
β-pineno	Proteína=7.86749+3.12001 E ⁻⁷ *β-pineno	0.4428	0.0001	19.61
Limoneno	Proteína=18.6707-2.07895E ⁻⁸ *Limoneno	-0.4455	0.0001	19.84
Pulegona	Proteína=13.9338+8.3276 E ⁻⁶ *Pulegona	0.4597	0.0238	21.13
Terpinoleno	Proteína=17.7396+1.1678 E ⁻⁶ *Terpinoleno	0.3459	0.0714	11.96
Carvona	Proteína=18.2672-4.00897 E ⁻⁷ *Carvona	-0.3559	0.0025	12.66
Estragol	Proteína=18.051-1.16928 E ⁻⁷ *Estragol	-0.3186	0.0064	10.15
Anetol	Proteína=17.9885-3.7608 E ⁻⁷ *Anetol	-0.2214	0.0837	4.90
1-octen-3-ol	Proteína=19.412-1.23565 E ⁻⁷ *1-octen-3-ol	-0.4585	0.0001	21.02

Se observa que con todos los parámetros de composición existe una relación positiva con el contenido en proteínas. Importante la relación que se establece con el contenido en minerales totales y concretamente con el contenido en hierro, posiblemente debido a la presencia del hierro como átomo central de la hemoglobina. También muy interesante la alta relación (coeficiente de correlación 0.6240) existente con el contenido en nitratos. En este caso el modelo de regresión obtenido es capaz de explicar el 38.94% de la variabilidad de la concentración en proteína (figura 91). Esta relación se centra exclusivamente para el momento final donde el jamón ya está curado, ya que el análisis de nitratos se realizó, exclusivamente en este momento

Las relaciones positivas entre el contenido en proteína y el de nitratos y cenizas ha sido encontrado también en los trabajos de Sánchez (2012).

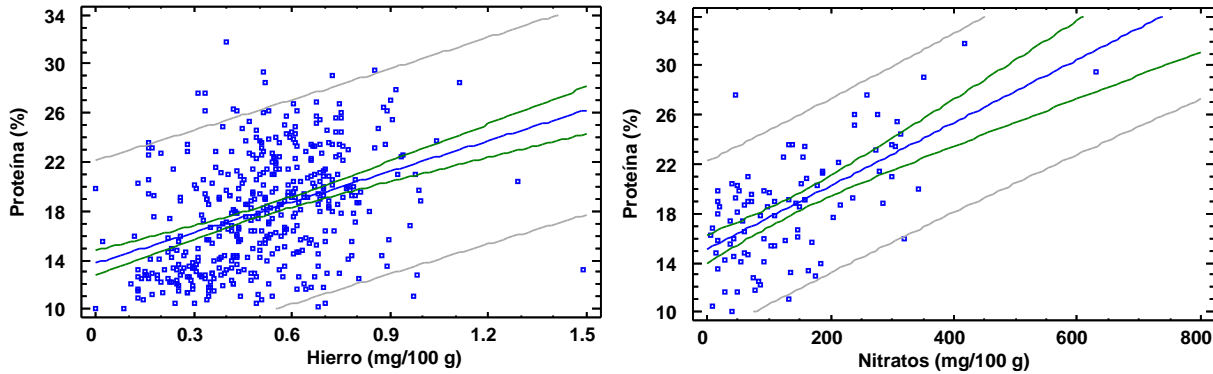


Figura 91. Modelo de regresión lineal ajustado entre el contenido en proteína *versus* el contenido en hierro en la carne y jamón y nitratos en el jamón.

Al aumentar el contenido en cloruro sódico, se favorece la oxidación de las proteínas al ser la sal un agente oxidante. Esta reacción se puede ver influenciada por el contenido en hierro, ya que puede actuar como catalizador en reacciones de oxidación proteica (Ruiz *et al.*, 2004; Estévez, 2011; Fuentes *et al.*, 2014), lo que justificaría la relación positiva entre este elemento mineral y la concentración proteica.

La relación positiva entre las proteínas y los nitratos se debe a que la adición de estos agentes conservantes ejerce un efecto antioxidante (Honikel, 2008) sobre las mismas, evitando que puedan entrar en procesos de oxidación secundarios (Arnau *et al.*, 2013) que podrían dar lugar al desarrollo de aromas rancios. En esta línea, en la revisión bibliográfica realizada por Toldrá *et al.* (2009) se observó que los nitratos y nitritos no presentaban diferencias significativas con la interacción de los compuestos volátiles y las proteínas.

Entre las proteínas y la mayoría de los compuestos volátiles se presentan modelos de regresión negativos, posiblemente debido a que tienen relación con la formación de los mismos. Por ello, si no se llegan a generar suficientes aminoácidos (Santandreu *et al.*, 2003) que interaccionen con los compuestos procedentes de la oxidación primaria de lípidos, no se producirá la formación de dichas sustancias de composición aromática.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 55. Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en proteína *versus* aldehídos, cetonas, alcanos, ácidos grasos y resto de la fracción volátil.

Proteína <i>Versus</i>	Modelo de regresión	Coefficiente de correlación	Nivel de significación (p-value)	Nivel de explicación (%)
Hexanal	Proteína=18.5857-2.63933 E ⁻⁸ *Hexanal	-0.5019	0.0003	25.19
Heptanal	Proteína=17.6119-1.35332 E ⁻⁷ *Heptanal	-0.4039	0.0008	16.31
(Z)-2-heptenal	Proteína=18.518-2.2642 E ⁻⁷ *(Z)-2-heptenal	-0.4194	0.0002	17.59
(E,E)-2,4-heptadienal	Proteína=19.50-2.72 E ⁻⁷ *(E,E)-2,4-heptadienal	-0.5372	0.0007	28.86
(E)-2-octenal	Proteína=17.959-8.207 E ⁻⁸ *(E)-2-octenal	-0.4104	0.0004	16.84
Nonanal	Proteína=17.8221-4.74653 E ⁻⁸ *Nonanal	-0.3983	0.0005	15.86
(E)-2-nonenal	Proteína=18.7682-5.07986 E ⁻⁷ *(E)-2-nonenal	-0.3613	0.0027	13.05
Decanal	Proteína=18.087-9.338 E ⁻⁷ *Decanal	-0.3664	0.0017	13.43
Anisaldehído	Proteína=19.834-9.14783 E ⁻⁷ *anisaldehído	-0.4385	0.0011	19.23
(E)-2-decenal	Proteína=18.038-5.563 E ⁻⁷ *(E)-2-decenal	-0.4390	0.0001	19.27
(E,E)-2,4-decadienal	Proteína=21.93-8.277 E ⁻⁶ *(E,E)-2,4-decadienal	-0.3460	0.0359	11.97
2-heptanona	Proteína=17.161-9.932 E ⁻⁸ *2-heptanona	-0.2748	0.0195	7.55
Acetofenona	Proteína=18.726-1.6521 E ⁻⁶ *Acetofenona	-0.4860	0.0000	23.62
p-cimeno	Proteína=18.336-2.213 E ⁻⁸ *p-cimeno	-0.3787	0.0010	14.34
Naftaleno	Proteína=17.8915-4.342 E ⁻⁶ *Naftaleno	-0.3300	0.0046	10.89
α-metilnaftaleno	Proteína=1864-1.471 E ⁻⁶ *α-metilnaftaleno	-0.3403	0.0156	11.58
β-metilnaftaleno	Proteína=19.105-4.68 E ⁻⁶ *β-metilnaftaleno	-0.4321	0.0010	18.76
Bifenilo	Proteína=19.81-9.436 E ⁻⁶ *Bifenilo	-0.4907	0.0003	24.08
Undecano	Proteína=18.872-8.0638 E ⁻⁷ *Undecano	-0.2907	0.0230	8.45
Tridecano	Proteína=10.179+5.975 E ⁻⁶ *Tridecano	0.5245	0.0002	27.51
Ac. Pentanoico	Proteína=24.298-7.667*Ac Pentanoico	-0.4211	0.0205	17.73
Ac. Hexanoico	Proteína=8.604+2.4252 E ⁻⁶ *Ac. Hexanoico	0.3196	0.0746	19.21
Ac. Heptanoico	Proteína=26.31-8.17 E ⁻⁶ *Ac. Heptanoico	-0.4646	0.0338	21.59
γ-hexalactona	Proteína=18.503-1.026 E ⁻⁶ *γ-hexalactona	-0.4153	0.0008	14.14
Benzotiazol	Proteína=18.222-9.959 E ⁻⁷ *Benzotiazol	-0.4175	0.0004	17.43
γ-octalactona	Proteína=17.126-1.2039 E ⁻⁶ * γ-octalactona	-0.4267	0.0035	18.21
Alcanfor	Proteína=17.9215-8.98621 E ⁻⁸ *Alcanfor	-0.4493	0.0001	20.19
Mentona	Proteína=18.961-1.2725 E ⁻⁶ *Mentona	-0.3113	0.0098	9.69

Con los componentes de la fracción aromática se observa que todas las relaciones estadísticamente significativas existentes con el contenido en proteína son negativas, excepto las presentadas con el acetato de octen-1-ol, p-xileno, β-pineno, pulegona, terpinoleno, tridecano y el ácido hexanoico, donde es estos casos puntuales, al incrementarse la concentración en proteínas, se incrementa también la presencia del componente aromático. Para el resto la tendencia general es la disminución del contenido en proteína al incrementarse la del componente aromático.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Por la estrecha relación mostrada en el modelo de regresión destacan las vinculaciones entre el contenido en proteína y el acetato de octen-1-ol (aromas a tostado), el canfeno (con aromas picantes), el (E,E)-2,4-heptadienal (aromas a grasa) y el tridecano (aromas cítricos). Es decir que al disminuir el contenido en proteína se incrementarían los sabores pungentes y los aromas grasos (correspondientes al canfeno y (E,E)-2,4-heptadienal) y disminuirían los sabores tostados y cítricos, correspondientes a los otros dos componentes con nivel de significación alto. Aunque el conjunto total de los aromas es mucho más complejo y estas diferencias serían matices sobre el total.

4.2.5. Relaciones entre parámetros con el contenido en minerales totales

En este apartado se analizan las relaciones simples, entre el contenido en minerales totales o cenizas de la carne y jamón con el resto de variables, excluidas las ya analizadas para los parámetros del color, humedad, grasa y proteína, vinculadas a las cenizas.

Las tablas 56 y 57 muestran las relaciones significativas y con un coeficiente de correlación cercano o superior al valor de 0.2 ($r^2 \geq 0.2$) de los pares estudiados, relacionados con el contenido en minerales totales *versus* los contenidos en hierro y sodio, los ésteres, terpenos, alcoholes y aldehídos de la fracción volátil (tabla 56) y para el resto de la fracción volátil (tabla 57), así como el modelo de regresión, el coeficiente de correlación y el nivel de explicación para cada caso.

Lógicamente existe una alta correlación positiva entre el contenido en cenizas y las correspondientes concentraciones de hierro y sodio presentes en la carne y jamón, siendo la del sodio la que presenta el mayor nivel de explicación (37.21).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 56. Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en minerales totales *versus* los parámetros de composición, ésteres, terpenos, alcoholes y aldehídos de la fracción volátil.

Cenizas <i>Versus</i>	Modelo de regresión	Coefficiente de correlación	Nivel de significación (p-value)	Nivel de explicación (%)
Hierro	Cenizas=1.83175+3.32103*Hierro	0.3829	0.0000	14.66
Sodio	Cenizas=1.83871+0.00135636*Sodio	0.6100	0.0000	37.21
Hexanoato de metilo	Cenizas=2.573-3.0345 E ⁻⁸ *Hexanoato de metilo	-0.3170	0.0006	10.05
Decanoato de metilo	Cenizas=4.0515-1.417 E ⁻⁸ *Decanoato de metilo	-0.3737	0.0419	13.96
Decanoato de etilo	Cenizas=3.4091-1.6192 E ⁻⁶ *Decanoato de etilo	-0.5986	0.0000	35.84
Acetato de octen-1-ol	Cenizas=2.861+3.312 E ⁻⁶ *Acetato de octen-1-ol	0.4315	0.0194	18.62
α-pineno	Cenizas=3.30629-4.36217 E ⁻⁸ *α-pineno	-0.6999	0.0000	48.98
Canfeno	Cenizas=2.74109-3.43738 E ⁻⁸ *Canfeno	-0.6380	0.0000	40.70
β-pineno	Cenizas=0.492489+6.86117 E ⁻⁸ *β-pineno	0.3268	0.0058	10.68
Limoneno	Cenizas=3.42125-8.9608 E ⁻⁹ *Limoneno	-0.6446	0.0000	41.55
Carvona	Cenizas=3.25852-1.74121 E ⁻⁷ *Carvona	-0.5235	0.0000	27.40
Estragol	Cenizas=3.269-5.723 E ⁻⁷ *Estragol	-0.5235	0.0000	27.40
Anetol	Cenizas=3.29557-2.21199 E ⁻⁷ *Anetol	-0.4460	0.0003	19.89
1-octen-3-ol	Cenizas=3.65874-5.02149 E ⁻⁸ *1-octen-3-ol	-0.6255	0.0000	39.12
1-heptanol	Cenizas=0.7369+1.1394 E ⁻⁸ *1-heptanol	0.5650	0.0003	31.92
1-octanol	Cenizas=0.7326+1.3815 E ⁻⁸ *1-octanol	0.5814	0.0002	33.80
Hexanal	Cenizas=2.92636-8.67343 E ⁻⁸ *Hexanal	-0.5103	0.0002	26.04
Heptanal	Cenizas=2.897-4.9906 E ⁻⁸ *Heptanal	-0.4863	0.0000	23.65
(Z)-2-heptenal	Cenizas=3.174-8.071 E ⁻⁸ * (Z)-2-heptenal	-0.5020	0.0000	25.20
(E,E)-2,4-heptadienal	Cenizas=3.184-7.986 E ⁻⁸ * (E,E)-2,4-heptadienal	-0.6018	0.0001	36.22
(E)-2-octenal	Cenizas=3.1048-3.220 E ⁻⁸ * (E)-2-octenal	-0.5084	0.0000	25.85
Nonanal	Cenizas=2.89076-1.59589 E ⁻⁸ *Nonanal	-0.4496	0.0001	20.21
(E)-2-nonenal	Cenizas=3.2221-1.7358 E ⁻⁷ * (E)-2-nonenal	-0.4167	0.0005	17.37
Decanal	Cenizas=3.0326-3.3908 E ⁻⁷ *Decanal	-0.4472	0.0001	20.00
Anisaldehído	Cenizas=3.51527-3.34065 E ⁻⁷ *Anisaldehído	-0.5595	0.0000	31.31
(E)-2-decenal	Cenizas=2.973-1.8988 E ⁻⁷ * (E)-2-decenal	-0.5030	0.0000	25.30
(E,E)-2,4-decadienal	Cenizas=4.449-3.1047E ⁻⁶ * (E,E)-2,4-decadienal	-0.5842	0.0001	34.13
2-hexenal	Cenizas=0.6864+1.0446 E ⁻⁷ *2-hexenal	0.4388	0.0074	19.25
Benzaldehído	Cenizas=0.7158+2.065 E ⁻⁸ *Benzaldehído	0.5023	0.0029	25.23

Destaca el amplio número de relaciones estadísticamente significativas que se han detectado entre el contenido en minerales totales y los componentes de la fracción aromática. Siendo en la gran mayoría de los casos relaciones con un alto coeficiente de correlación. A excepción de los modelos obtenidos para las relaciones de las cenizas con el acetato de octen-1-ol, con el 1-heptanol, con el 1-octanol, con el 2-hexenal, con el benzaldehído y con el tridecano, para el resto de relaciones estadísticamente

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

significativas existentes con los componentes aromáticos, se trata de relaciones negativas, donde el contenido de los diferentes componentes volátiles aumenta, al disminuir el contenido en minerales.

Tabla 57. Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en minerales totales *versus* cetonas, alcanos, ácidos grasos y resto de la fracción volátil.

Cenizas <i>Versus</i>	Modelo de regresión	Coefficiente de correlación	Nivel de significación (p-value)	Nivel de explicación (%)
2-heptanona	Cenizas=2.707-3.6927 E ⁻⁸ *2-heptanona	-0.3430	0.0032	11.77
Acetofenona	Cenizas=3.238-6.222 E ⁻⁷ *Acetofenona	-0.6266	0.0000	39.26
p-cimeno	Cenizas=3.2563-9.3385 E ⁻⁹ *p-cimeno	-0.5364	0.0000	28.78
Naftaleno	Cenizas=3.0941-1.892 E ⁻⁷ *Naftaleno	-0.4828	0.0000	23.31
α-metilnaftaleno	Cenizas=2.906-4.831 E ⁻⁷ *α-metilnaftaleno	-0.4124	0.0029	17.01
β-metilnaftaleno	Cenizas=3.282-1.705 E ⁻⁶ *β-metilnaftaleno	-0.5562	0.0000	30.94
Bifenilo	Cenizas=3.306-3.009 E ⁻⁶ *Bifenilo	-0.5684	0.0000	32.30
Undecano	Cenizas=3.4151-3.6304 E ⁻⁷ *Undecano	-0.4621	0.0002	21.35
Tridecano	Cenizas=11184+1.4555 E ⁻⁶ *Tridecano	0.4788	0.0009	22.93
Tetradecano	Cenizas=3.6073-2.484 E ⁻⁶ *Tetradecano	-0.3794	0.0028	14.40
Y-hexalactona	Cenizas=3.102-3.229 E ⁻⁷ *Y-hexalactona	-0.4517	0.0002	20.41
Benzotiazol	Cenizas=3.125-3.792 E ⁻⁷ *Benzotiazol	-0.5450	0.0000	29.71
Y-octalactona	Cenizas=3.339-5.722 E ⁻⁶ * Y-octalactona	-0.5367	0.0001	28.80
Alcanfor	Cenizas=3.023-3.587 E ⁻⁸ *Alcanfor	-0.6042	0.0000	36.50
Mentona	Cenizas=3.603-5.901 E ⁻⁷ *Mentona	-0.4928	0.0000	24.28

Al evaluar la incidencia del contenido en sodio y hierro como parte de la concentración mineral, en las relaciones con los componentes de la fracción volátil, se observa que el elemento que más influye en los modelos de regresión obtenidos es el hierro, ya que el sodio presenta variaciones importantes a lo largo del proceso de secado del jamón y ello hace que no se puedan establecer relaciones claras sobre la fracción volátil.

A modo de ejemplo, la figura 92 muestra las relaciones significativas encontradas entre el contenido en hierro de la carne y jamón con las concentraciones del 1-octen-3-ol (aromas a tostado) y con las concentraciones de la acetofenona (aromas a almendra). El estadístico R² indica que el modelo ajustado 1-octen-3-ol explica el 10.38% de la variabilidad en hierro, para el caso de la acetofenona explica el 10.97%, con coeficientes de correlación de -0.3222 y -0.3312, respectivamente, lo que indica una relación relativamente débil entre las variables.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

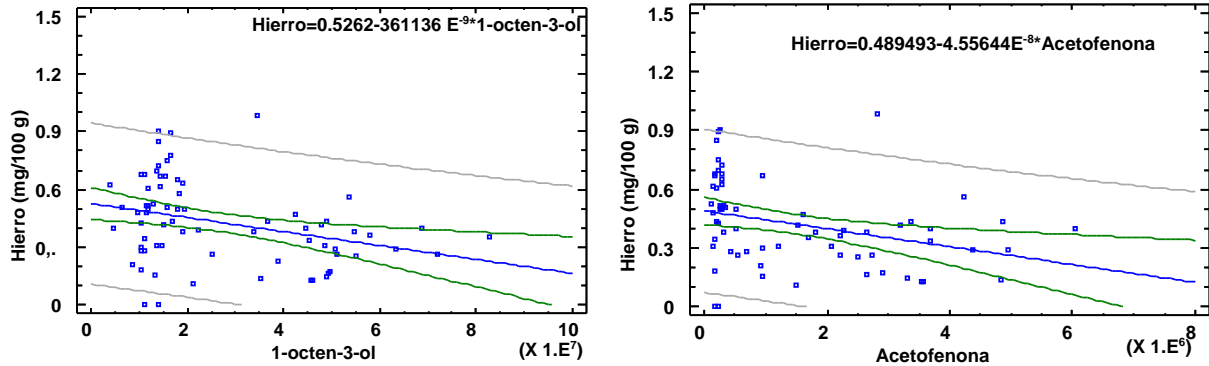


Figura 92. Modelo de regresión lineal ajustado entre el contenido en hierro *versus* el contenido en 1-octen-3-ol y acetofenona en la carne y jamón.

Una de las características del sodio y del hierro, como elementos minerales en el jamón, es que son agentes oxidantes, por lo que cabría esperar, que un valor mayor de estos elementos debería relacionarse con más productos oxidativos de la fracción aromática, procedentes de grasas y proteínas, contrario a lo que se observa en el estudio realizado, ya que la relación que se ha establecido para la mayoría de los compuestos volátiles es negativa.

4.2.6. Relaciones entre el ácido esteárico, oleico, linoleico, araquidónico y linolénico con la fracción aromática

En este apartado se analizan las relaciones simples, entre el contenido en el ácido graso esteárico, oleico, linoleico, araquidónico y linolénico con cada uno de los componentes de la fracción aromática detectados en la carne y jamón. Se han seleccionado estos ácidos grasos por ser representativos de los ácidos grasos saturados, monoinsaturados y los tres poliinsaturados que pueden ser precursores o tener vínculos con los aromas del jamón.

La tabla 58 muestra las relaciones significativas y con un coeficiente de correlación cercano o superior al valor de 0.2 ($r^2 \geq 0.2$) de los pares estudiados, relacionados con el contenido en ácido graso esteárico *versus* los componentes de la fracción volátil, así como el modelo de regresión, el coeficiente de correlación y el nivel de explicación para cada caso.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 58. Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en el ácido graso esteárico *versus* la fracción volátil.

Esteárico <i>Versus</i>	Modelo de regresión	Coefficiente de correlación	Nivel de significación (p-value)	Nivel de explicación (%)
Decanoato de etilo	Esteárico=24.69+1.43 E ⁻⁶ *Decanoato de etilo	0.2317	0.0612	5.37
Heptanoato de etilo	Esteárico=25.14+1.79 E ⁻⁷ *Heptanoato de etilo	0.6278	0.0040	39.42
Acetato de octen-1-ol	Esteárico=29.19-1.66 E ⁻⁶ *Acetato de octen-1-ol	-0.5897	0.0008	34.77
Trans-óxido de limoneno	Esteárico=28.507-1.95 E ⁻⁶ *Trans-óxido de limoneno	-0.4083	0.0592	16.67
Pulegona	Esteárico=30.23-6.34 E ⁻⁶ *Pulegona	-0.4972	0.0134	24.72
α-linalol	Esteárico=27.796-1.52 E ⁻⁷ *α-linalol	-0.4896	0.0045	23.97
Anetol	Esteárico=26.3904-2.6018 E ⁻⁷ *Anetol	-0.2341	0.0670	5.48
3,5-octadien-2-ol	Esteárico=24.96+6.40 E ⁻⁸ *3,5-octadien-2-ol	0.3619	0.0019	13.10
1-heptanol	Esteárico=24.57+6.484 E ⁻⁸ *1-heptanol	0.4230	0.0101	17.90
1-octanol	Esteárico=24.3702+8.71395 E ⁻⁸ *1-octanol	0.4826	0.0029	23.29
Hexanal	Esteárico=22.5372+1.7788 E ⁻⁸ *Hexanal	0.3838	0.0077	14.73
2-heptenal	Esteárico=24.6161+9.9056 E ⁻⁸ *(Z)-2-heptenal	0.2727	0.0205	7.43
(E,E)-2,4-heptadienal	Esteárico=25.558+1.124 E ⁻⁷ *(E,E)-2,4-heptadienal	0.3083	0.0674	9.50
(E)-2-octenal	Esteárico=24.73+3.633 E ⁻⁸ *(E)-2-octenal	0.2520	0.0340	6.35
Nonanal	Esteárico=24.9111+2.1023 E ⁻⁸ *Nonanal	0.2621	0.0261	6.87
(E)-2-nonenal	Esteárico=24.446+2.574 E ⁻⁷ *(E)-2-nonenal	0.2700	0.0271	7.29
Decanal	Esteárico=24.897+3.5072 E ⁻⁷ *Decanal	0.2053	0.0858	4.22
(E,E)-2,4-nonadienal	Esteárico=24.58+5.4799 E ⁻⁷ *(E,E)-2,4-nonadienal	0.2152	0.0715	4.63
(E)-2-decenal	Esteárico=24.838+2.399 E ⁻⁷ *(E)-2-decenal	0.2813	0.0167	7.91
2-hexenal	Esteárico=24.0615+6.643 E ⁻⁷ *2-hexenal	0.3672	0.0276	13.48
Ac. Nonanoico	Esteárico=29.58-1.1559 E ⁻⁷ *Ac. Nonanoico	-0.5789	0.0188	33.51
γ-hexalactona	Esteárico=242102+5.4492 E ⁻⁷ *γ-hexalactona	0.2950	0.0199	8.70
γ-octalactona	Esteárico=24.57+9.605 E ⁻⁷ * γ-octalactona	0.4350	0.0028	18.92

Se observa que, siendo el esteárico es un ácido graso saturado, contribuye de forma estadísticamente significativa a la composición de diferentes principios aromáticos de la carne y del jamón. En la gran mayoría de los casos de forma positiva, destacando el heptanoato de etilo (aromas complejos a piña, bayas y curados del coñac), por el alto coeficiente de correlación, dando un modelo de regresión capaz de explicar el 39.42 de la variabilidad del ácido graso esteárico, presente en la carne, ya que este componente aromático sólo se ha detectado en el momento inicial. En el menor de los casos, de forma negativa, indicando que el ácido graso se degrada conforme aumenta la composición del componente aromático de la carne y jamón, destacando en este caso el acetato de octen-1-ol (aromas térreos), que es capaz de explicar el 34.77% de la variabilidad del ácido graso esteárico.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La relación positiva entre el ácido esteárico y la mayoría de los compuestos volátiles con los que se ha relacionado podría deberse al hecho de que conforme avanza el proceso de curado-madurado del jamón se produce un aumento en la presencia de ácidos grasos saturados como resultado de la disminución de los AGMI y AGPI (Larrea, 2003) que pasan a formar compuestos volátiles. En el caso de los AGMI, principalmente se da con el ácido palmitoleico y el ácido oleico, pudiendo llegar a reducirse hasta un 40% (Salazar, 2013).

La tabla 59 muestra las relaciones significativas y con un coeficiente de correlación cercano o superior al valor de 0.2 ($r^2 \geq 0.2$) de los pares estudiados, relacionados con el contenido en ácido graso oleico *versus* los componentes de la fracción volátil, así como el modelo de regresión, el coeficiente de correlación y el nivel de explicación para cada caso.

Tabla 59. Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en el ácido graso oleico *versus* la fracción volátil.

Oleico <i>Versus</i>	Modelo de regresión	Coefficiente de correlación	Nivel de significación (p-value)	Nivel de explicación (%)
Acetato de octen-1-ol	Oleico=21.729+2.382 E ⁻⁶ *Acetato de octen-1-ol	0.4304	0.0198	18.53
Pulegona	Oleico=20.4542+8.318 E ⁻⁶ *Pulegona	0.3355	0.1090	11.25
1,8-cineol	Oleico=18.76+3.049 E ⁻⁸ *1,8-cineol	0.4164	0.0115	17.34
α-linalol	Oleico=19.068+4.532 E ⁻⁷ *α-linalol	0.6522	0.0001	42.54
1-octen-3-ol	Oleico=28.32-9.40 E ⁻⁸ *1-octen-3-ol	-0.2584	0.0284	6.68
Hexanal	Oleico=22.5372+1.7788 E ⁻⁸ *Hexanal	-0.4079	0.0044	16.64
Heptanal	Oleico=27.067-1.011 E ⁻⁷ *Heptanal	-0.2156	0.0821	4.65
2-heptenal	Oleico=27.881-1.943 E ⁻⁸ *(Z)-2-heptenal	-0.2666	0.0236	7.11
(E,E)-2,4-heptadienal	Oleico=26.042-1.977 E ⁻⁷ *(E,E)-2,4-heptadienal	-0.3193	0.0577	10.19
Fenilacetaldehído	Oleico=19.60+5.031 E ⁻⁶ *Fenilacetaldehído	0.3335	0.0468	11.12
(E)-2-octenal	Oleico=27.691-7.0935 E ⁻⁸ *(E)-2-octenal	-0.2464	0.0384	6.07
Nonanal	Oleico=26.9617-3.1951 E ⁻⁸ *Nonanal	0.2621	0.0945	6.87
(E)-2-nonenal	Oleico=28.0199-4.2032 E ⁻⁷ *(E)-2-nonenal	-0.2246	0.0676	5.05
(E)-2-decenal	Oleico=27.1598-3.8946 E ⁻⁷ *(E)-2-decenal	-0.2276	0.0545	5.18
2-heptanona	Oleico=27.265-1.3596 E ⁻⁷ *2-heptanona	-0.2786	0.0178	7.76
Tetradecano	Oleico=28.943-7.75 E ⁻⁶ *Tetradecano	-0.2812	0.0295	7.91
Ac. Hexanoico	Oleico=44.188-3.63241 E ⁻⁶ *Ac. Hexanoico	-0.3499	0.0497	12.24
Ac. Nonanoico	Oleico=20.491+1.72076 E ⁻⁶ *Ac. Nonanoico	0.4398	0.0882	19.34
γ-hexalactona	Oleico=28.664-7.1043 E ⁻⁷ *γ-hexalactona	-0.2107	0.1003	4.44
γ-octalactona	Oleico=28.174-1.416 E ⁻⁶ *γ-octalactona	-0.3413	0.0218	11.65

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ácido graso oleico presenta relaciones estadísticamente significativas principalmente de signo negativo, es decir que este ácido graso se degrada para formarse los compuestos aromáticos correspondientes, relaciones que son más numerosas para el caso de los aldehídos, como el hexanal (aroma vegetativo y a madera). También se observa que para algunos componentes de la fracción volátil, existe una relación, positiva, destacando el α -linalol (aromas cítricos y rosa), por mantener una relación fuerte con el ácido oleico, llegando a explicar el 42.54% de la variabilidad de este ácido graso monoinsaturado en la carne y el jamón (figura 93).

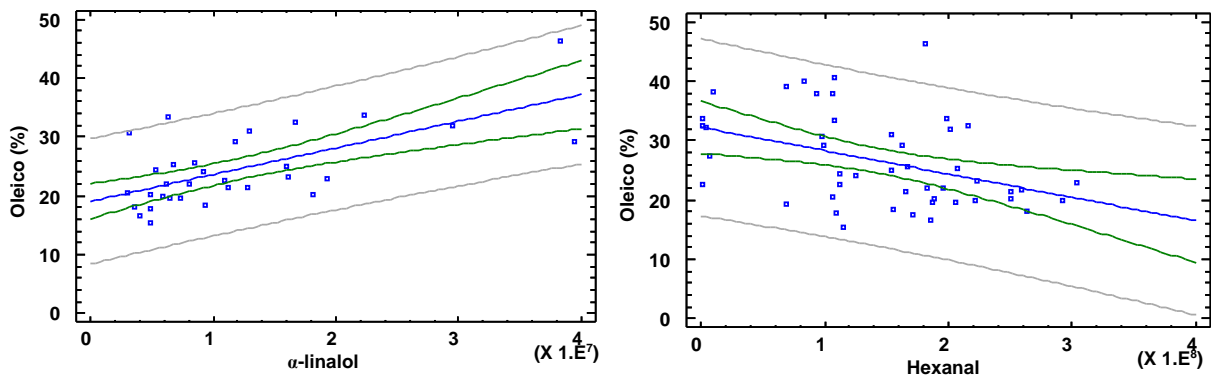


Figura 93. Modelo de regresión lineal ajustado entre el contenido en el ácido graso oleico *versus* el contenido en α -linalol y hexanal en la carne y jamón.

Las relaciones entre el ácido graso oleico y la mayoría de los compuestos volátiles son negativas, lo que indica que la oxidación de este ácido graso estaría implicada en la mayoría de las formaciones de estos compuestos aromáticos, no siendo el caso del α -linalol cuya presencia se detecta únicamente en la muestra de carne, desapareciendo al final del proceso debido a la disminución de este ácido graso a lo largo del proceso para dar lugar a diferentes compuestos volátiles. En fases iniciales el ácido oleico no se vería tan afectado por los fenómenos oxidativos ya que estos se producen de forma paulatina durante el proceso de secado, generando sobre todo productos que se identifican con aromas agradables, los aldehídos, en especial octanal y nonanal (Ventanas *et al.*, 1997; Ventanas *et al.*, 1998).

La tabla 60 muestra las relaciones significativas y con un coeficiente de correlación cercano o superior al valor de 0.2 ($r^2 \geq 0.2$) de los pares estudiados, relacionados con el contenido en ácido graso linoleico *versus* los componentes de la fracción volátil, así como el modelo de regresión, el coeficiente de correlación y el nivel de explicación para cada caso.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 60. Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en el ácido graso linoleico *versus* la fracción volátil.

Linoleico <i>Versus</i>	Modelo de regresión	Coefficiente de correlación	Nivel de significación (p-value)	Nivel de explicación (%)
Acetato de octen-1-ol	Linoleico=0.239+4.583 E ⁻⁶ *Acetato de octen-1-ol	0.3265	0.0839	10.66
α-pineno	Linoleico=0.353+3.637 E ⁻⁹ *α-pineno	0.2541	0.0313	6.45
Canfeno	Linoleico=0.3534+3.812 E ⁻⁹ *Canfeno	0.2462	0.0700	6.06
Limoneno	Linoleico=0.355+6.541 E ⁻¹⁰ *Limoneno	0.2048	0.0843	4.20
1-octen-3-ol	Linoleico=0.2557+6.711 E ⁻⁸ *1-octen-3-ol	0.3640	0.0017	13.25
1-hexanol	Linoleico=0.279+1.8196 E ⁻⁸ *1-hexanol	0.2864	0.0904	8.20
Hexanal	Linoleico=0.27165+1.38012 E ⁻⁹ *Hexanal	0.2651	0.0717	7.03
2-heptenal	Linoleico=0.3319+9.7251 E ⁻⁹ *(Z)-2-heptenal	0.2633	0.0254	6.93
(E,E)-2,4-heptadienal	Linoleico=0.3698+7.64 E ⁻⁹ *(E,E)-2,4-heptadienal	0.3014	0.0740	9.08
(E)-2-octenal	Linoleico=0.3583+3.108 E ⁻⁹ *(E)-2-octenal	0.2118	0.0762	4.49
2-heptanona	Linoleico=0.334+9.408 E ⁻⁹ *2-heptanona	0.3805	0.0010	14.48
(E,E)-3,5-octadien-2-ona	Linoleico=0.0876+4.621 E ⁻⁸ *(E,E)-3,5-octadien-2-ona	0.4831	0.0028	23.34
Ac. Octanoico	Linoleico=0.1984+1.0645 E ⁻⁶ *Ac. Octanoico	0.3857	0.0469	14.88

Se observa que el número de relaciones estadísticamente significativas existentes con el ácido graso linoleico es bajo. Excepto para el caso de la (E,E)-3,5-octadien-2-ona, se trata de relaciones débiles, con un bajo valor de coeficiente de correlación y que explican un bajo valor de la variabilidad de este ácido graso poliinsaturado. Además, todas las relaciones están vinculadas de forma positiva, lo que indica que, aunque con baja incidencia el ácido graso linoleico contribuye a la presencia del componente aromático.

La mayor presencia de linoleico, se asocia a un mayor contenido en compuestos volátiles, especialmente en (E,E)-3,5-octadien-2-ona, indicando que en general la formación de los compuestos volátiles con los que se ha establecido relaciones en este estudio no proceden del ácido linoleico, sino de otros ácidos grasos mono o poli insaturados o incluso de proteínas, haciendo así que los niveles de este ácido graso poliinsaturado aumenten a la par que lo hacen los compuestos volátiles, no por un aumento real, sino de forma relativa, por una disminución de otros componentes.

La tabla 61 muestra las relaciones significativas y con un coeficiente de correlación cercano o superior al valor de 0.2 ($r^2 \geq 0.2$) de los pares estudiados, relacionados con el contenido en ácido graso linoléico *versus* los componentes de la fracción volátil, así como el modelo de regresión, el coeficiente de correlación y el nivel de explicación para cada caso.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 61. Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en el ácido graso linolénico *versus* la fracción volátil.

Linolénico <i>Versus</i>	Modelo de regresión	Coefficiente de correlación	Nivel de significación (p-value)	Nivel de explicación (%)
Hexanoato de metilo	Linolénico=0.1139+2.063 E ⁻⁹ *Hexanoato de metilo	0.2157	0.0844	4.65
α-pineno	Linolénico=0.0766+2.518 E ⁻⁹ *α-pineno	0.3309	0.0045	10.95
Canfeno	Linolénico=0.09837+2.195 E ⁻⁹ *Canfeno	0.2645	0.0510	7.00
Limoneno	Linolénico=0.07551+4.7279 E ⁻¹⁰ *Limoneno	0.2786	0.0178	7.76
1-octen-3-ol	Linolénico=0.0268+3.9925 E ⁻⁸ *1-octen-3-ol	0.4073	0.0004	16.59
Hexanal	Linolénico=0.04807+8,1533 E ⁻¹⁰ *Hexanal	0.2906	0.0475	8.45
Heptanal	Linolénico=0.09511+3.277 E ⁻⁹ *Heptanal	0.2533	0.0401	6.42
2-heptenal	Linolénico=0.06476+6.472 E ⁻⁹ *(Z)-2-heptenal	0.3296	0.0047	10.87
(E,E)-2,4-heptadienal	Linolénico=0.0803+5.848 E ⁻⁹ *(E,E)-2,4-heptadienal	0.4009	0.0154	16.07
(E)-2-octenal	Linolénico=0.0758+2.326 E ⁻⁹ *(E)-2-octenal	0.2985	0.0115	8.91
Nonanal	Linolénico=0.0956+1.057 E ⁻⁹ *Nonanal	0.2438	0.0390	5.94
(E)-2-decenal	Linolénico=0.0960+1.0912 E ⁻⁸ *(E)-2-decenal	0.2367	0.0453	5.60
(E,E)-2,4-decadienal	Linolénico=0.02472+1.522 E ⁻⁷ *(E,E)-2,4-decadienal	0.4965	0.0018	24.65
2-heptanona	Linolénico=0.04869+7.9046 E ⁻⁹ *2-heptanona	0.6014	0.0000	36.17
Acetofenona	Linolénico=0.075+3.299 E ⁻⁸ *Acetofenona	0.3144	0.0096	9.88
(E,E)-3,5-octadien-2-ona	Linolénico=0.0092+9.989 E ⁻⁹ *(E,E)-3,5-octadien-2-ona	0.3499	0.0365	12.24
p-cimeno	Linolénico=0.0831+5.0334 E ⁻¹⁰ *p-cimeno	0.2368	0.0452	5.61
Naftaleno	Linolénico=0.09167+1.025 E ⁻⁸ *Naftaleno	0.2142	0.0709	4.59
β-metilnaftaleno	Linolénico=0.0789+7.459 E ⁻⁸ *β-metilnaftaleno	0.2943	0.0292	8.66
Bifenilo	Linolénico=0.05355+1.6796 E ⁻⁷ *Bifenilo	0.3642	0.0086	13.26
Ac. Octanoico	Linolénico=0.0146+3.4134 E ⁻⁸ *Ac. Octanoico	0.3827	0.0488	14.64
Ac. Decanoico	Linolénico=-0.0465+1.39 E ⁻⁶ *Ac. Decanoico	0.7845	0.0647	61.54
γ-hexalactona	Linolénico=0.095+2.431 E ⁻⁸ *γ-hexalactona	0.2107	0.0517	6.16
γ-octalactona	Linolénico=0.0634+3.0109 E ⁻⁸ * γ-octalactona	0.4384	0.0026	19.21

Se observa que todas las relaciones estadísticamente significativas existentes con el ácido graso linolénico son positivas, por lo que los componentes de la fracción volátil aumentan conforme se incrementa la concentración del ácido graso linolénico. Excepto para el caso del ácido decanoico, donde se encuentra una fuerte relación (el modelo de regresión con el ácido decanoico es capaz de explicar el 61.54% de la variabilidad del ácido linolénico), para el resto de variables se trata de relaciones débiles, con un bajo valor de coeficiente de correlación y que explican un bajo valor de la variabilidad de este ácido graso poliinsaturado.

Estos resultados pueden indicar que la formación de los compuestos volátiles con los que se ha establecido relaciones con el ácido linolénico, no se generen directamente de este ácido graso como

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

precursor, sino de otros ácidos grasos mono o poliinsaturados o incluso de proteínas, haciendo así que los niveles de este ácido graso poliinsaturado aumenten a la par que lo hacen los compuestos volátiles, no por un aumento real, sino de forma relativa, por una disminución de otros componentes.

La tabla 62 muestra las relaciones significativas y con un coeficiente de correlación cercano o superior al valor de 0.2 ($r^2 \geq 0.2$) de los pares estudiados, relacionados con el contenido en ácido graso araquidónico *versus* los componentes de la fracción volátil, así como el modelo de regresión, el coeficiente de correlación y el nivel de explicación para cada caso.

Existe un elevado número de relaciones estadísticamente significativas entre el ácido graso araquidónico y los componentes de la fracción volátil detectada en la carne y jamón. A excepción de las relaciones con la pulegona y el fenilacetaldehído, los modelos obtenidos presentan tendencias positivas de forma que la presencia del componente volátil se incrementa con la concentración del ácido graso araquidónico.

Sólo se muestran dos relaciones relativamente fuertes, una con el allo-ocimeno y la otra con el fenilacetaldehído, capaces de explicar aproximadamente el 20% de la variabilidad del ácido araquidónico. El resto de relaciones son débiles, con coeficientes de correlación que no superan el 0.5. Destacan los aldehídos, como los componentes de la fracción volátil que más se relacionan con el ácido graso araquidónico de la carne y jamón.

El hecho de no encontrar relaciones negativas, es decir que los componentes volátiles aumenten por la disminución de los ácidos grasos, puede ser porque su síntesis o acumulación no proceda de la degradación lipídica, sino de la degradación proteica o incluso del crecimiento de microorganismos no alterantes ni patógenos que participan en ocasiones de la formación de compuestos volátiles. Los microorganismos tienden a crecer en las primeras fases de curado, pero a partir del cuarto mes decrecen (Hernández y Huerta, 1993), lo que explicaría, en algunos casos que algunos componentes volátiles desaparezcan al final del proceso de secado.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 62. Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en el ácido graso araquidónico *versus* la fracción volátil.

Araquidónico <i>Versus</i>	Modelo de regresión	Coefficiente de correlación	Nivel de significación (p-value)	Nivel de explicación (%)
Hexanoato de metilo	Araquidónico=0.365+1.164 E ⁻⁹ *Hexanoato de metilo	0.2332	0.0615	5.44
Decanoato de etilo	Araquidónico=0.352+4.4473 E ⁻⁸ *Decanoato de etilo	0.2467	0.0459	6.08
α-pineno	Araquidónico=0.361+9.3363 E ⁻¹⁰ *α-pineno	0.2316	0.0503	5.36
Canfeno	Araquidónico=0.35676+1.086 E ⁻⁹ *Canfeno	0.2529	0.0624	5.40
Allo-ocimeno	Araquidónico=0.3134+94112 E ⁻⁸ *Allo-ocimeno	0.5018	0.0047	25.18
Pulegona	Araquidónico=0.41462-7.312 E ⁻⁸ *Pulegona	-0.3566	0.0871	12.72
Terpinoleno	Araquidónico=0.3278+1.4077 E ⁻⁸ *Terpinoleno	0.3686	0.0536	13.58
1-octen-3-ol	Araquidónico=0.3479+1.281 E ⁻⁹ *1-octen-3-ol	0.2466	0.0367	6.08
Hexanal	Araquidónico=0.30864+5.249 E ⁻¹⁰ *Hexanal	0.3566	0.0139	12.72
Heptanal	Araquidónico=0.35469+2.0617 E ⁻⁹ *Heptanal	0.3038	0.0131	9.23
2-heptenal	Araquidónico=0.3418+3.774 E ⁻⁹ *(Z)-2-heptenal	0.3628	0.0017	13.16
(E,E)-2,4-heptadienal	Araquidónico=0.379+4.2698 E ⁻⁹ *(E,E)-2,4-heptadienal	0.3928	0.0178	15.43
Fenilacetaldehído	Araquidónico=0.4564-6.206 E ⁻⁸ *Fenilacetaldehído	-0.4549	0.0053	20.70
(E)-2-octenal	Araquidónico=0.3474+1.36 E ⁻⁹ *(E)-2-octenal	0.3292	0.0051	10.84
Nonanal	Araquidónico=0.363+5.184 E ⁻¹⁰ *Nonanal	0.2258	0.0565	5.10
(E)-2-nonenal	Araquidónico=0.3454+7.605 E ⁻⁹ *(E)-2-nonenal	0.2761	0.0237	7.62
(E)-2-decenal	Araquidónico=0.359+6.756 E ⁻⁹ *(E)-2-decenal	0.2767	0.0186	7.65
2-hexenal	Araquidónico=0.3338+2.3325 E ⁻⁸ *2-hexenal	0.3129	0.0631	9.79
2-heptanona	Araquidónico=0.365+1.626 E ⁻⁹ *2-heptanona	0.2335	0.0484	5.45
Acetofenona	Araquidónico=0.3578+1.52 E ⁻⁸ *Acetofenona	0.2333	0.0574	5.44
p-cimeno	Araquidónico=0.3538+2.807 E ⁻¹⁰ *p-cimeno	0.2493	0.0347	6.21
β-metilnaftaleno	Araquidónico=0.3448+4.863 E ⁻⁸ *β-metilnaftaleno	0.3434	0.0103	11.79
γ-hexalactona	Araquidónico=0.3415+1.405 E ⁻⁸ *γ-hexalactona	0.3466	0.0058	12.01
Benzotiazol	Araquidónico=0.3479+1.216 E ⁻⁸ *Benzotiazol	0.3028	0.0128	9.17
γ-octalactona	Araquidónico=0.3503+1.9473 E ⁻⁸ * γ-octalactona	0.3500	0.0184	12.25

Por otra parte, la mayoría de los componentes de la fracción volátil se generan por los mecanismos químicos y enzimáticos durante el proceso *post-mortem*, donde la lipólisis y la proteólisis son las principales reacciones bioquímicas implicadas en la generación de estos compuestos (Flores *et al.*, 1997). Algunos de los trabajos publicados en relación a la fracción volátil del jamón, han señalado la variabilidad de los componentes cuantificados, lo que puede deberse a que los jamones no son productos homogéneos y los músculos y la grasa subcutánea de las muestras pueden diferir en su composición, dando lugar a complejas relaciones en el origen del componente aromático (García-González *et al.*, 2013).

4.3. ANÁLISIS DISCRIMINANTE

Para llevar a cabo el estudio de tipificación del jamón se ha realizado un análisis discriminante. Este análisis consiste en establecer una clasificación a distintas observaciones en grupos alternativos. Esta clasificación se efectúa a partir de los valores de un conjunto de variables medidas sobre los jamones a los que se pretende clasificar, con la consideración de que cada elemento individualizado estudiado (jamón) pertenece a un solo grupo.

Las variables que se utilizan para realizar la clasificación de los jamones, se llaman variables clasificadoras, variables predictoras, variables criterio o variables explicativas. La variable que contiene el grupo en el que se ha clasificado cada jamón se llama variable dependiente. La finalidad de estudio discriminante es calcular las combinaciones lineales de las variedades clasificadoras que maximicen la diferencia entre los jamones estudiados. Las funciones obtenidas mediante estas combinaciones lineales son las funciones discriminantes, también llamados factores o ejes.

El análisis discriminante se aplica con fines explicativos y predictivos. En su uso explicativo se intenta determinar la contribución de cada variable clasificadora en la tipificación correcta de cada jamón. En una aplicación predictiva, se trata de determinar el grupo al que pertenece un jamón para el que se conocen los valores que toman las variables clasificadoras. De los coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes se deduce cuáles han sido las variables que con más peso han contribuido a la separación entre grupos.

Se han realizado diferentes estudios para evaluar la clasificación, principalmente para poder tipificar los jamones en función de la procedencia y en segundo lugar para la clasificación de los jamones en función del sistema de secado.

4.3.1. Clasificación del jamón en función de la procedencia

En el primer estudio se pretende desarrollar un conjunto de funciones discriminatorias que pueden ayudar a predecir la procedencia del jamón en función de los valores de las variables cuantitativas empleadas como variables clasificadoras. En total han sido 16 variables, entre las que se incluyen los parámetros del color (L^* , a^* , b^* , C^* y H^*), los parámetros de composición de la carne y jamón (humedad, grasa, proteína, contenido mineral total, contenido en hierro y contenido en sodio), los parámetros

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

globales del perfil de ácidos grasos (AGS, AGMI y AGPI), así como el contenido en nitratos y nitritos, evaluando 431 casos para desarrollar el modelo discriminante. Como resultado, se han obtenido dos funciones discriminantes, estadísticamente significativas al 95% de nivel de confianza, que pueden ayudar a predecir la procedencia del jamón, basado en los valores de las variables cuantitativas (tabla 63). A partir de la primera función canónica discriminante se puede llegar a explicar el 62.02% de la variabilidad.

Tabla 63. Valores de la función discriminante en la clasificación del jamón, con el total de 16 variables, en función de la procedencia.

	Autovalor	Porcentaje de varianza	Correlación canónica	Lambda de wilks	Chi-cuadrado	Grados Libertad	Nivel de significación
Función 1	0.630585	62.02	0.62187	0.442422	342.9139	32	0.0000
Función 2	0.386181	37.98	0.52782	0.721407	137.3152	15	0.0000

La función 1 es la que mayor correlación presenta y se puede emplear para la clasificación de las muestras estudiadas, y para predecir a qué procedencia pertenecerían nuevas observaciones de jamón que se pretenda clasificar. La función 1 clasificadora estandarizada obtenida es:

$$0.038612 * L * -1.85193 * a * -7.18943 * b * +8.34732 * C * +0.540583 * H * +0.179854 * Humedad - 0.0148779 * Grasa + 0.28145 * Proteína + 0.460236 * Cenizas - 0.0383263 * Hierro - 0.402898 * Sodio - 0.287828 * AGS + 0.292495 * AGMI + 0.465763 * AGPI + 0.684234 * Nitratos - 0.0328719 * Nitritos$$

La clasificación obtenida se muestra en la tabla 64. De las 144 muestras de carne y jamón de procedencia convencional, la función permite clasificar correctamente el 63.19% de las muestras, 22 se confunden con procedencia ecológica y 31 con la procedencia DOP Teruel. De las 143 muestras de carne y jamón de procedencia ecológica, se pueden clasificar correctamente 112, lo que supone el 78.32% de la totalidad, 7 se confunden con procedencia convencional y 24 se confunden con DOP Teruel. De las 144 muestras de carne y jamón de la DOP Teruel se clasifican correctamente 92 (63.89%), 18 se confunden con procedencia convencional y 34 con procedencia ecológica. Es decir, existe un alto porcentaje de éxito en la clasificación de los jamones, en función de la procedencia y empleando las 16 variables, permitiendo el mayor grado de éxito en la clasificación entre procedencia ecológica y convencional.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 94 muestra el diagrama de dispersión del total de muestras analizadas, se observa claramente la distribución de las muestras en función de las tres procedencias y los solapes existentes en la intersección de la nube de puntos, coincidente con el nivel de confusión entre procedencias.

Tabla 64. Resultados de la clasificación del jamón, con el total de 16 variables, en función de la procedencia.

Procedencia del jamón	Grupo de pertenencia pronosticada			
	Convencional	Ecológico	DOP Teruel	
Recuento	Convencional	91	22	31
	Ecológico	7	112	24
	DOP Teruel	18	34	92
%	Convencional	63.19	15.28	21.53
	Ecológico	4.90	78.32	16.78
	DOP Teruel	12.50	23.61	63.89

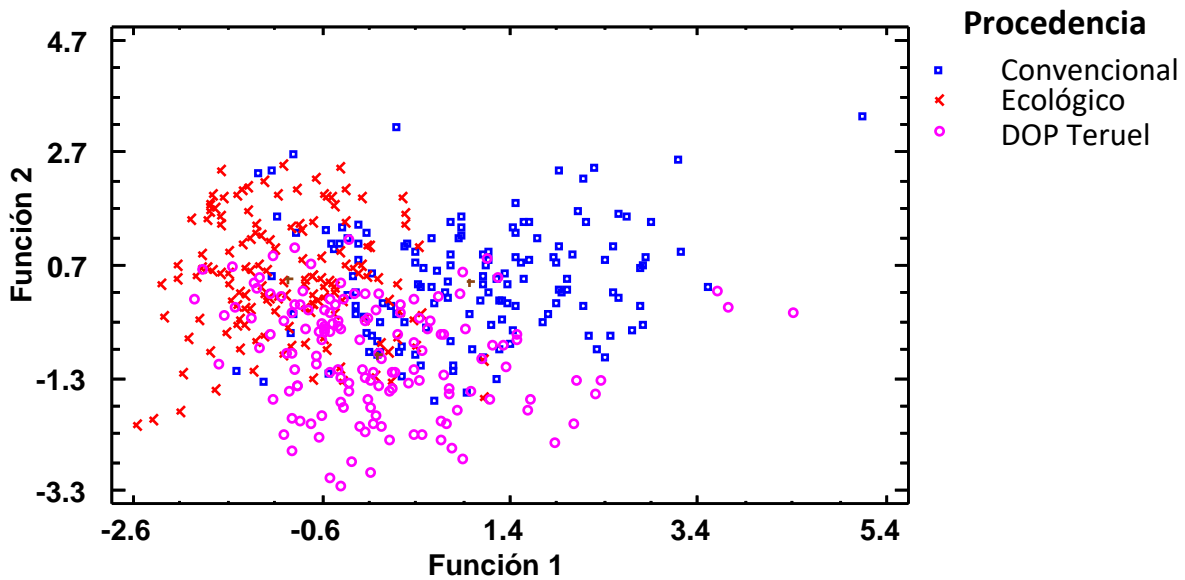


Figura 94. Diagrama de dispersión en la clasificación del jamón, con el total de 16 variables, en función de la procedencia.

En el segundo estudio también se pretende desarrollar un conjunto de funciones discriminatorias que pueden ayudar a predecir la procedencia del jamón, tomando en este caso la totalidad de los componentes de la fracción volátil obtenida, teniendo en cuenta que esta fracción volátil se ha estudiado en dos momentos concretos en el origen a la materia prima y en el producto final, con un total de 64 variables y evaluando en promedio unos 136 casos para desarrollar el modelo discriminante. En este

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

caso se han obtenido dos funciones discriminantes, estadísticamente significativas al 95% de nivel de confianza, que pueden ayudar a predecir la procedencia del jamón, basado en los valores de las variables cuantitativas (tabla 65). A partir de la primera función canónica discriminante se puede llegar a explicar el 77.67% de la variabilidad.

Tabla 65. Valores de la función discriminante en la clasificación del jamón, con las variables de la fracción volátil, en función de la procedencia.

	Autovalor	Porcentaje de varianza	Correlación canónica	Lambda de wilks	Chi-cuadrado	Grados Libertad	Nivel de significación
Función 1	19.3437	77.67	0.97511	0.00129844	2502.4426	128	0.0000
Función 2	5.56287	22.33	0.92067	0.026415	1368.1345	63	0.0000

La clasificación obtenida se muestra en la tabla 66. De las 135 muestras de carne y jamón de procedencia convencional, la función permite clasificar correctamente 21 muestras (el 15.56%) y 114 se confunden con procedencia ecológica. De las 139 muestras de carne y jamón de procedencia ecológica, se pueden clasificar correctamente la totalidad y de las 137 muestras procedentes de la DOP Teruel, 119 se confunden con procedencia ecológica y sólo 18 se clasifican correctamente como DOP Teruel. Se observa que esta función discriminante no es eficiente, debido al alto grado de confusión con el que se clasificarían las muestras de procedencia convencional y de la DOP Teruel.

Tabla 66. Resultados de la clasificación del jamón, con el total de las variables de la fracción volátil, en función de la procedencia.

Procedencia del jamón		Grupo de pertenencia pronosticada		
		Convencional	Ecológico	DOP Teruel
Recuento	Convencional	21	114	0
	Ecológico	0	139	0
	DOP Teruel	0	119	18
%	Convencional	15.56	84.44	0.00
	Ecológico	0.00	100	0.00
	DOP Teruel	0.00	86.86	13.14

Por último, en el tercer estudio para predecir la procedencia del jamón o tipificar muestras, se ha realizado contemplando cada uno de los ácidos grasos, componentes del perfil lipídico de la grasa, con un total de 21 variables y evaluando en promedio unos 143 casos para desarrollar el modelo discriminante. En este caso se han obtenido dos funciones discriminantes, estadísticamente significativas al 95% de nivel de confianza, que pueden ayudar a predecir la procedencia del jamón,

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

basado en los valores de las variables cuantitativas (tabla 67). A partir de la primera función canónica discriminante se puede llegar a explicar el 62.68% de la variabilidad.

Tabla 67. Valores de la función discriminante en la clasificación del jamón, con las variables de los ácidos grasos, en función de la procedencia.

	Autovalor	Porcentaje de varianza	Correlación canónica	Lambda de wilks	Chi-cuadrado	Grados Libertad	Nivel de significación
Función 1	0.65789	62.68	0.62994	0.433432	347.7849	42	0.0000
Función 2	0.39163	37.32	0.53049	0.718582	137.4779	20	0.0000

La clasificación obtenida se muestra en la tabla 68. De las 143 muestras de carne y jamón de procedencia convencional, la función permite clasificar correctamente 80 (55.94% de las muestras), 32 se confunden con procedencia ecológica y 31 con la procedencia DOP Teruel. De las 144 muestras de carne y jamón de procedencia ecológica, se pueden clasificar correctamente 106, lo que supone el 73.61% de la totalidad, 21 se confunden con procedencia convencional y 17 se confunden con DOP Teruel. De las 142 muestras de carne y jamón de la DOP Teruel se clasifican correctamente 117 (82.39), 13 se confunden con procedencia convencional y 12 con procedencia ecológica. Es decir, existe un alto porcentaje de éxito en la clasificación de los jamones, en función de la procedencia y empleando el perfil de los ácidos grasos, permitiendo el mayor grado de éxito en la clasificación entre procedencia ecológica y DOP Teruel.

Tabla 68. Resultados de la clasificación del jamón, con el total de las variables de la fracción volátil, en función de la procedencia.

Procedencia del jamón		Grupo de pertenencia pronosticada		
		Convencional	Ecológico	DOP Teruel
Recuento	Convencional	80	32	31
	Ecológico	21	106	17
	DOP Teruel	13	12	117
%	Convencional	55.94	22.38	21.68
	Ecológico	14.58	73.61	11.81
	DOP Teruel	9.15	8.45	82.39

En el análisis discriminante llevado a cabo en el estudio de Delgado-Chavero *et al.* (2013) también lograron un alto porcentaje de identificación de la procedencia de muestras de jamón ibérico en relación a los ácidos grasos, en concreto llegaron a un porcentaje de acierto de 94% para el jamón ibérico de cebo/campo, un 71% para el jamón de recebo y un 85% para el jamón de bellota, a través de un análisis

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

discriminante, empleando doce ácidos grasos y las relaciones isotópicas de los mayoritarios, incluyendo la campaña en el criterio de clasificación.

La figura 95 muestra el diagrama de dispersión del total de muestras analizadas, se observa claramente la distribución de las muestras en función de las tres procedencias y los solapes, existentes en la intersección de la nube de puntos, coincidente con el nivel de confusión entre procedencias.

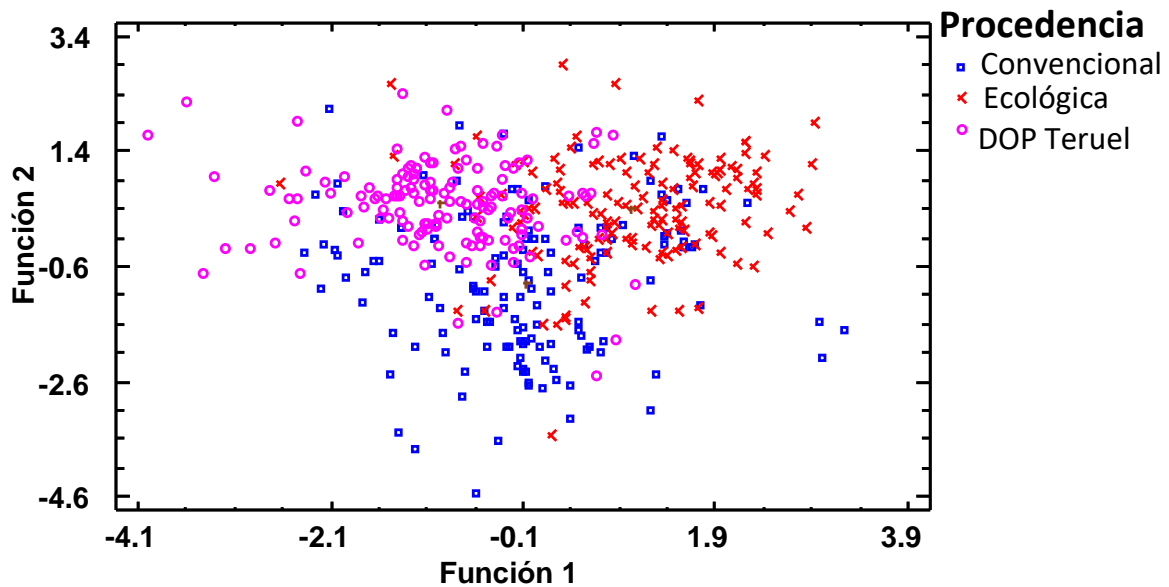


Figura 95. Diagrama de dispersión en la clasificación del jamón, con el total de ácidos grasos, en función de la procedencia.

El empleo de todos los parámetros para realizar la tipificación de los jamones en función de la procedencia, no es eficiente ya que no aporta disminución en los datos empleados para dicho objetivo, es decir el principal objetivo es que con pocos parámetros y de fácil medición, se pueda realizar una buena clasificación. Además, en el caso de emplear el discriminante por la fracción de componentes volátiles, la clasificación sólo es adecuada para los jamones de la procedencia ecológica.

Por ello, se ha realizado un estudio discriminante empleando como variables clasificadoras, aquellas que presentan un coeficiente estandarizado numéricamente alto de la función discriminante global, en concreto se ha realizado el estudio con doce variables de todos los grupos de analitos evaluados. Las doce variables con mayor valor del coeficiente son a*, b*, C*, nitratos, los ácidos grasos undecanoico,

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

laurico, tridecanoico y palmitoleico, así como los componentes de la fracción volátil, trans-óxido de limoneno, fenilacetaldehído, (E)-2-decenal, (E,E)-2,4-decadienal y acetofenona.

Con este nuevo estudio con variables reducidas, se han obtenido dos funciones discriminantes, estadísticamente significativas al 95% de nivel de confianza, que pueden ayudar a predecir la procedencia del jamón, basado en los valores de las variables cuantitativas a partir de la primera función canónica discriminante (tabla 69). Esta función presenta un alto nivel de correlación y es capaz de explicar el 70.78% de la variabilidad.

Tabla 69. Valores de la función discriminante en la clasificación del jamón, con las variables reducidas, en función de la procedencia.

	Autovalor	Porcentaje de varianza	Correlación canónica	Lambda de wilks	Chi-cuadrado	Grados Libertad	Nivel de significación
Función 1	0.580619	70.78	0.60608	0.510324	283.8835	26	0.0000
Función 2	0.23973	29.22	0.43974	0.806627	90.6850	12	0.0000

La función 1 se puede emplear para la clasificación de las muestras estudiadas, y para predecir a qué procedencia pertenecerían nuevas observaciones de jamón que se pretenda clasificar. La función 1 clasificadora estandarizada obtenida es:

$$2.43789*a*+7.40591*b*-8.7948*C*-0.670044*Nitratos-0.0558573*trans-óxido de limoneno+0.103776*fenilacetaldehído+0.182744*(E)-2-decenal+0.0633269*(E,E)-2.4-decadienal-0.0299771*acetofenona-0.442415*undecanoico+0.317351*laurico-0.0834689*tridecanoico-0.715658*palmitoleico$$

La clasificación obtenida se muestra en la tabla 70. De las 144 muestras de carne y jamón de procedencia convencional, la función permite clasificar correctamente el 69.44% de las muestras, 18 se confunden con procedencia ecológica y 26 con la procedencia DOP Teruel. De las 143 muestras de carne y jamón de procedencia ecológica, se pueden clasificar correctamente 100, lo que supone el 69.93% de la totalidad, 14 se confunden con procedencia convencional y 29 se confunden con DOP Teruel. De las 144 muestras de carne y jamón de la DOP Teruel se clasifican correctamente 90 (62.50%), 24 se confunden con procedencia convencional y 30 con procedencia ecológica. Es decir, existe un alto porcentaje de éxito en la clasificación de los jamones, en función de la procedencia y empleando las 12 variables.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 96 muestra el diagrama de dispersión del total de muestras analizadas, se observa claramente la distribución de las muestras en función de las tres procedencias y los solapes, existentes en la intersección de la nube de puntos, coincidente con el nivel de confusión entre procedencias.

Tabla 70. Resultados de la clasificación del jamón, con las variables reducidas, en función de la procedencia.

Procedencia del jamón	Grupo de pertenencia pronosticada			
	Convencional	Ecológico	DOP Teruel	
Recuento	Convencional	100	18	26
	Ecológico	14	100	29
	DOP Teruel	24	30	90
%	Convencional	69.44	12.50	18.06
	Ecológico	9.79	69.93	20.28
	DOP Teruel	16.67	20.83	62.50

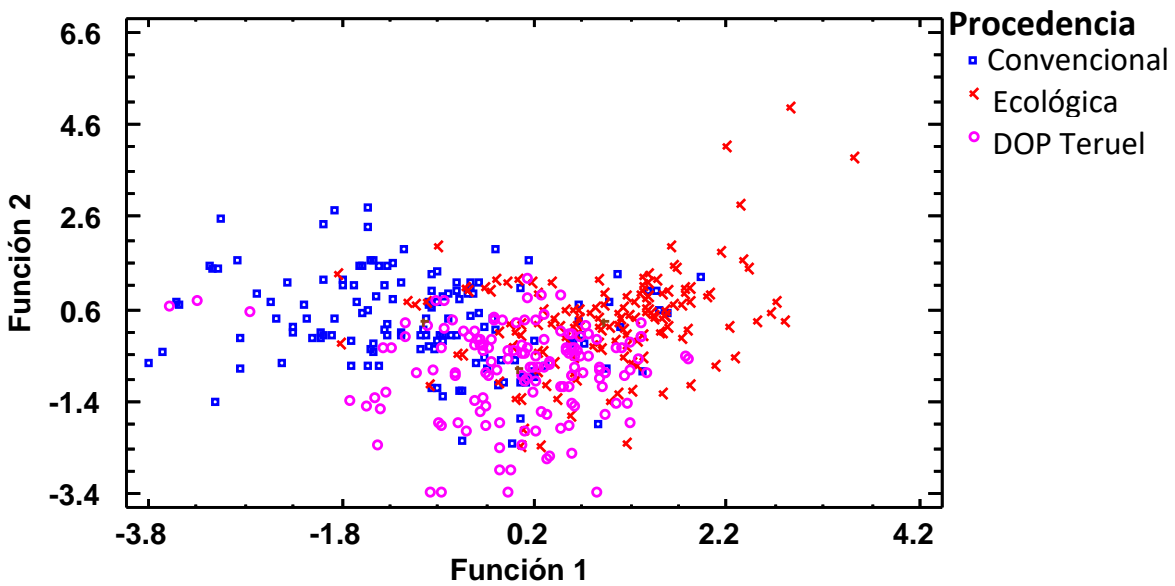


Figura 96. Diagrama de dispersión en la clasificación del jamón, con variables reducidas, en función de la procedencia.

Teniendo en cuenta que los análisis de la fracción volátil son complejos y no disponer de estos valores podría llevar a no poder emplear la ecuación como clasificadora, se puede realizar un análisis discriminante eliminando los componentes aromáticos como variables. Para este nuevo estudio se emplean las variables de color (a^* , b^* y C^*), el contenido en nitratos y los valores totales de las AGS, AGMI y AGPI. Este nuevo estudio no es tan resolutivo como los anteriores, pero permitiría la clasificación con variables químicas más fáciles de determinar. Se han obtenido dos funciones discriminantes,

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

estadísticamente significativas al 95% de nivel de confianza, que pueden ayudar a predecir la procedencia del jamón, basado en los valores de las variables cuantitativas a partir de la primera función canónica discriminante (tabla 71). Esta función presenta un alto nivel de correlación y es capaz de explicar el 77.91% de la variabilidad.

Tabla 71. Valores de la función discriminante en la clasificación del jamón, sin variables de componentes volátiles, en función de la procedencia.

	Autovalor	Porcentaje de varianza	Correlación canónica	Lambda de wilks	Chi-cuadrado	Grados Libertad	Nivel de significación
Función 1	0.511814	77.91	0.58184	0.577617	233.8074	14	0.0000
Función 2	0.145148	22.09	0.35602	0.87325	57.7373	6	0.0000

La función 1 se puede emplear para la clasificación de las muestras estudiadas, y para predecir a qué procedencia pertenecerían nuevas observaciones de jamón que se pretenda clasificar. La función 1 clasificadora estandarizada obtenida es:

$$-255.054-13.1129*a*-27.5333*b*+33.7042*C*-0.00375647*nitratos+4.63575*AGS+4.64351*AGMI+7.33102*AGPI$$

La clasificación obtenida se muestra en la tabla 72. Se observa que el mayor porcentaje de éxito en la clasificación de los jamones se obtendría para la procedencia ecológica, ya que de las 144 muestras de carne y jamón de procedencia convencional, la función permite clasificar correctamente 90, lo que significa un 62.50% de las muestras, 24 se confunden con procedencia ecológica y 30 con la procedencia DOP Teruel. De las 144 muestras de carne y jamón de procedencia ecológica, se pueden clasificar correctamente 104, lo que supone el 72.22% de la totalidad, sólo 4 muestras se confunden con procedencia convencional y 36 se confunden con DOP Teruel. De las 144 muestras de carne y jamón de la DOP Teruel se clasifican correctamente 81 (56.25%), 22 se confunden con procedencia convencional y 41 con procedencia ecológica. Esta ecuación podría ser empleada con éxito para predecir nuevas muestras y separarlas entre ecológicas y convencionales, incluso para detectar fraudes, en función de la procedencia del jamón, pero se cometería un sesgo importante en la clasificación de jamones para la DOP Teruel.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 97 muestra el diagrama de dispersión del total de muestras analizadas, se observa claramente la distribución de las muestras en función de las tres procedencias y los solapes, existentes en la intersección de la nube de puntos, coincidente con el nivel de confusión entre procedencias.

Tabla 72. Resultados de la clasificación del jamón, sin variables de componentes volátiles, en función de la procedencia.

Procedencia del jamón	Grupo de pertenencia pronosticada			
	Convencional	Ecológico	DOP Teruel	
Recuento	Convencional	90	24	30
	Ecológico	4	104	36
	DOP Teruel	22	41	81
%	Convencional	62.50	16.67	20.83
	Ecológico	2.78	72.22	25.00
	DOP Teruel	15.28	28.47	56.25

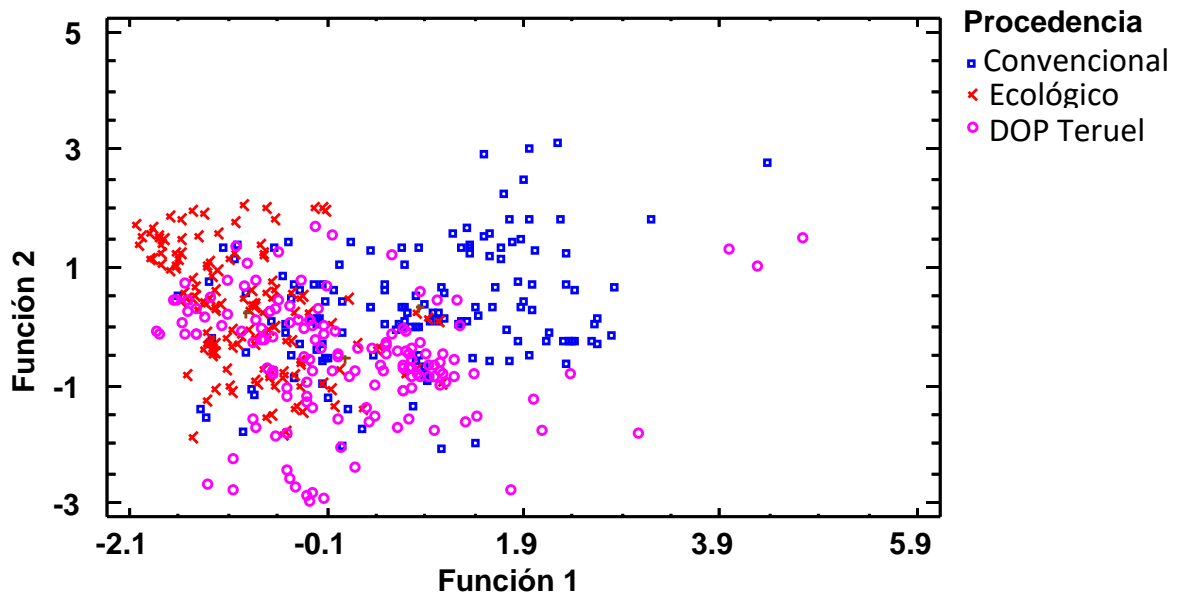


Figura 97. Diagrama de dispersión en la clasificación del jamón, sin variables de componentes volátiles, en función de la procedencia.

4.3.2. Clasificación del jamón en función del sistema de secado

Las variables clasificadoras que más pueden estar implicadas para la clasificación entre el sistema de secado con ventana abierta o con cámara del jamón, son aquellos parámetros más sujetos a las reacciones químicas de oxidación, en concreto los ácidos grasos y los componentes de la fracción volátil, aunque también los parámetros del color pueden tener implicaciones en estas reacciones.

La clasificación empleando exclusivamente los componentes de la fracción volátil no es efectiva (estadísticamente no significativa). Como se observa en la tabla 73 con la clasificación de grupos en función del análisis discriminante implicando exclusivamente a los compuestos de la fracción, el modelo comete errores, ya que no es capaz de clasificar correctamente a las muestras de cámara con la procedencia convencional y DOP Teruel y a las muestras secadas en cámara procedentes de producción ecológica.

Tabla 73. Resultados de la clasificación del jamón, con las variables de componentes volátiles, en función de del sistema de secado y procedencia.

Procedencia del jamón	Sistema de secado	Grupo de pertenencia pronosticada		
		Ventana	Cámara	
Convencional	Recuento	Ventana	60	10
		Cámara	60	5
	%	Ventana	85.71	14.29
		Cámara	92.31	7.69
Ecológico	Recuento	Ventana	10	60
		Cámara	4	65
	%	Ventana	14.29	85.71
		Cámara	5.80	94.20
DOP Teruel	Recuento	Ventana	62	5
		Cámara	60	10
	%	Ventana	92.54	7.46
		Cámara	85.71	14.29

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tomando como variables clasificadoras, la totalidad de los ácidos grasos presentes en el perfil lipídico, se obtiene un modelo estadísticamente significativo, que permitiría una clasificación adecuada (tabla 74), en función del sistema de secado, tanto para el total de las muestras como para cada una de las procedencias.

Tabla 74. Resultados de la clasificación del jamón, con el total de los ácidos grasos, en función de del sistema de secado y procedencia.

Procedencia del jamón	Sistema de secado	Grupo de pertenencia pronosticada		
		Ventana	Cámara	
TOTAL de procedencias	Recuento	Ventana	139	76
		Cámara	68	146
	%	Ventana	64.65	35.35
		Cámara	31.78	68.22
Convencional	Recuento	Ventana	56	16
		Cámara	16	55
	%	Ventana	77.78	22.22
		Cámara	22.54	77.46
Ecológico	Recuento	Ventana	53	19
		Cámara	17	55
	%	Ventana	73.71	26.39
		Cámara	23.61	76.39
DOP Teruel	Recuento	Ventana	59	12
		Cámara	16	55
	%	Ventana	83.10	16.90
		Cámara	22.54	77.46

Por último, si se emplean como variables clasificatorias, los parámetros, a*, b* y C* del color, los contenidos en ácidos grasos oleico (AGMI), linoleico, linolénico y araquidónico (AGPI) y los componentes de naturaleza terpenoide de la fracción volátil, se obtiene un modelo de clasificación estadísticamente significativo, para el total de las muestras, como para cada una de las procedencias, donde se pueden clasificar de forma correcta más del 60% de las muestras de jamón, atendiendo al sistema de secado (tabla 75).

El uso de los componentes volátiles ha sido empleado con éxito, en la clasificación del jamón de Teruel. Luna *et al.* (2006) identificaron y cuantificaron 46 compuestos volátiles en cuatro partes del jamón (grasa subcutánea y bíceps femoral, músculos semitendinosos y semimembranosos) de 41 muestras de España, Francia e Italia. En su análisis discriminante refinaron hasta seis compuestos volátiles (2-propanona,

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

butanol, 3-metilbutanol, 3-metilbutanal, hexanal y limoneno), con los que pudieron distinguir los jamones de Teruel, ibéricos y blancos franceses y españoles simultáneamente.

Tabla 75. Resultados de la clasificación del jamón, con parámetros de color, ácidos grasos y componentes terpenoides, en función de del sistema de secado y procedencia.

Procedencia del jamón	Sistema de secado	Grupo de pertenencia pronosticada		
		Ventana	Cámara	
TOTAL de procedencias	Recuento	Ventana	122	90
		Cámara	76	135
	%	Ventana	57.55	42.45
		Cámara	36.02	63.98
Convencional	Recuento	Ventana	53	17
		Cámara	16	54
	%	Ventana	75.71	24.29
		Cámara	22.86	77.14
Ecológico	Recuento	Ventana	41	30
		Cámara	19	50
	%	Ventana	57.75	42.25
		Cámara	27.54	72.46
DOP Teruel	Recuento	Ventana	49	22
		Cámara	22	50
	%	Ventana	69.01	30.99
		Cámara	30.56	69.44

Una aplicación del análisis discriminante dentro del sector productor del jamón, ha sido la identificación de fraudes, en función de las diferentes categorías comerciales y de calidad de los jamones ibéricos curados mediante determinaciones analíticas. Bayés-García *et al.* (2016) emplearon la fracción lipídica en combinación con quimiometría analizada en el jamón para tipificar el jamón de bellota del jamón procedente de animales de cebo.

Incluso Bollen *et al.* (2009) han empleado el estudio discriminante para poder identificar el jamón de procedencia ecológica, pero no se han encontrado estudios discriminantes que analicen los componentes volátiles u otros componentes de la composición del jamón para la tipificación en función del sistema de secado.

4.4. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Para completar el estudio de la clasificación del jamón, es importante conocer que grupo de parámetros de los estudiados en la tipificación están relacionados entre sí, para ello se efectúa un análisis factorial. El análisis factorial es una técnica multivariante que utiliza un procedimiento que permite descomponer una matriz de correlaciones en unos pocos factores que son combinación lineal de los parámetros analizados en la carne y jamón, y que explican las correlaciones entre dichos parámetros. Es decir, el análisis factorial se utiliza para el examen y la interpretación de las correlaciones encontradas entre un grupo de parámetros con la finalidad de descubrir los posibles factores comunes a todos ellos. Los parámetros que tienen la máxima correlación entre sí y que son además suficientemente independientes de otros, se agrupan en factores. Cada factor está constituido por una combinación lineal de un subconjunto de los parámetros originales y es independiente de los otros factores.

Para la búsqueda de esta distribución se han realizado diferentes modelos, así en un primer estudio se han trabajado con las 107 variables estudiadas en el jamón: las cinco del color (L^* , a^* , b^* , C^* y H^*), las ocho relacionadas con la composición (humedad, grasa, proteína, contenido en minerales totales o cenizas, contenido en hierro, contenido en sodio, concentración en nitratos y en nitritos), los 21 ácidos grasos componentes de la fracción lipídica, las nueve variables relacionadas con la calidad de la grasa (AGS, AGMI, AGPI, IA, IT, ω_6/ω_3 , AGBS, AGPI/AGS y linoleico/linolénico) y los 64 componentes encontrados en la fracción volátil. En este caso, se han extraído 17 componentes, que en conjunto representan el 85.76% de la variabilidad en los datos originales. Este resultado es poco resolutivo, al dar como resultado un número elevado de componentes, pero permite visualizar la nube de datos por donde se agruparán las variables.

Partiendo del análisis global del total de las variables, éstas se van a ir dividiendo en grupos que permitan mayor visualización.

Con el propósito de obtener un número pequeño de combinaciones de las 13 variables que incluyen los parámetros de color, humedad, grasa, proteína, contenido en minerales totales o cenizas, contenido en hierro, contenido en sodio, concentración en nitratos y nitritos en la carne y jamón, se realiza un primer estudio, obteniendo 4 factores principales, con los cuales se consigue explicar el 73.73% de la

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

variabilidad de los resultados originales. Se observa que los jamones estudiados en este trabajo se pueden clasificar en cuatro categorías, los que presentan altos valores de la componente 1 y neutros de la componente 2, se caracterizan principalmente por sus altos contenidos en elementos minerales, proteína y luminosidad, en este grupo se englobarían principalmente jamones de procedencia convencional, sobre todo cuando la componente 2 es alta, y cuando los valores de la componente 2 son neutros aparecen jamones de la DOP Teruel y jamones convencionales.

En referencia a la luminosidad en dos estudios de componentes principales llevados a cabo sobre atributos sensoriales (Ventanas *et al.*, 2007a; Fuentes *et al.*, 2014), también ubican el brillo o luminosidad en valores altos de correlación en el estudio de componentes principales. Estos parámetros se sitúan gráficamente en el lado opuesto y por lo tanto con baja correlación con los parámetros del color y la humedad. De tal manera que otra categoría estaría representada por los parámetros de color a^* , b^* y C^* y se caracterizan por tener bajos valores de la componente 1 y 2, cuando la componente 2 está próxima al valor neutro se localizan principalmente jamones de procedencia ecológica. En el análisis realizado por Fuentes *et al.* (2014), a través del análisis de componentes principales vieron que los colores rojos percibidos en el análisis sensorial se iban a valores más altos del componente 1 y 2, que a su vez difiere del estudio de Ventanas *et al.* (2007a), donde el color rojo se sitúa en valores bajos del componente 1, pero altos del 2, también evaluado sobre atributos sensoriales, no físicos.

El tercer grupo de correlaciones se dan en los jamones que tienen bajo valor de la componente 1 y alto valor de la componente 2, que se caracterizan por un alto valor del contenido en agua y el tono, en este grupo estarían principalmente jamones de procedencia convencional y están en oposición con los parámetros que presentan alta correlación entre sí y relacionados con el contenido en grasa, nitratos y nitritos (figura 98), que también responden a una localización mayoritaria de jamones de procedencia convencional.

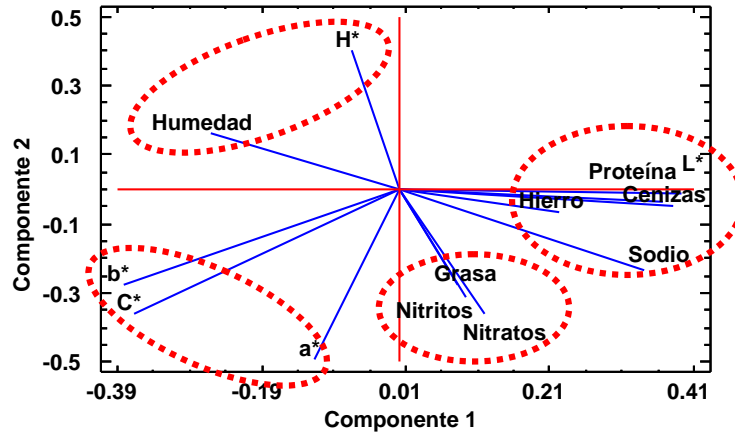


Figura 98. Gráfico de dispersión de los pesos de los componentes principales de las variables de color y de composición del jamón.

En el siguiente estudio se pretende obtener un número pequeño de combinaciones de las 21 variables que incluyen la fracción de los componentes de ácidos grasos de la grasa de la carne y jamón, obteniendo 6 factores principales, con los cuales se consigue explicar el 75.56% de la variabilidad de los resultados originales. Se observa que los jamones estudiados en este trabajo se pueden clasificar en cuatro categorías, los que presentan altos valores de la componente 1 y de la componente 2, se caracterizan principalmente por los ácidos grasos saturados (mirístico, esteárico, palmítico, ...) y en este grupo se localizarían los jamones de procedencia convencional. En el estudio de componentes principales llevado a cabo por Campo y Sierra (2011), ubican los AGS en valores bajos del componente 1 y altos del 2, situando en esa zona al jamón de Teruel.

Diagonalmente opuesto (bajos valores de la componente 1 y de la componente 2) se sitúa otro grupo de jamones cuya grasa se correlaciona con los valores de los ácidos grasos poliinsaturados, con correspondencia a jamones de procedencia ecológica. En el estudio de Campo y Sierra (2011), para los AGPI los valores del componente 1 y 2 son elevados y además se relacionan con jamones con una curación de 6 meses, así como con bajos valores de la componente 1 y neutros de la componente 2, los jamones que se agrupan por los ácidos grasos monoinsaturados, localizándose en esta zona los jamones de la DOP Teruel. En el estudio de Campo y Sierra (2011) se ubica también en valores bajos del componente 1, pero bajos del 2, relacionándolo con Jamón Serrano. El cuarto grupo de correlaciones se dan en los jamones que tienen alto valor de la componente 1 y bajo valor de la componente 2, que se

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

caracterizan por un alto valor del contenido en ácidos grasos de naturaleza láctea, como el cáprico y caprílico, coincidiendo jamones de las tres procedencias en este grupo (figura 99).

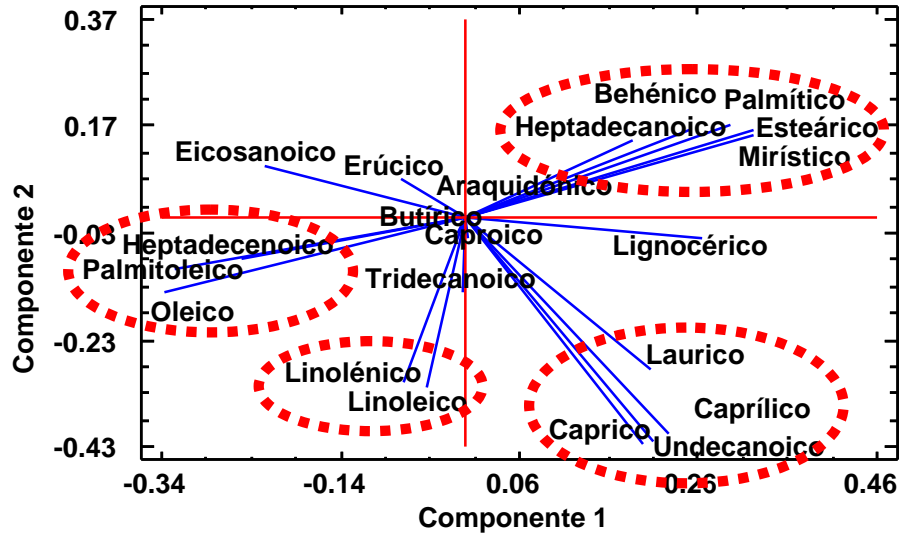


Figura 99. Gráfico de dispersión de los pesos de los componentes principales de los ácidos grasos del jamón.

Con los ácidos grasos se evalúan los parámetros de calidad de la grasa, y con ellos se pretende obtener un número pequeño de combinaciones de las 9 variables que se incluyen en los parámetros de calidad de la grasa de la carne y jamón, obteniendo 3 factores principales, con los cuales se consigue explicar el 88.63% de la variabilidad de los resultados originales. Se observa que los jamones estudiados en este trabajo se pueden clasificar en cuatro categorías, los que presentan altos valores de la componente 1, se caracterizan principalmente por estar relacionados con altos valores de ácidos grasos saturados y los índices de aterogenicidad (IA) y trombogénico (IT). Diagonalmente opuesto se sitúa otro grupo de jamones cuya grasa se correlaciona con los valores de los ácidos grasos monoinsaturados y los ácidos grasos beneficiosos para la salud (AGBS). El tercer grupo de correlaciones se dan en los jamones que tienen alto valor neutro de la componente 1, y se dividen en dos subgrupos, con valor alto de la componente 2, caracterizados por los ácidos grasos poliinsaturados y bajo valor de la componente 2, que se caracterizan por relaciones entre los ácidos grasos ω_6 y ω_3 . Al igual que en los anteriores estudios, estas correlaciones evaluadas con el total de los jamones estudiados, se mantienen para cada una de las procedencias (figura 100).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

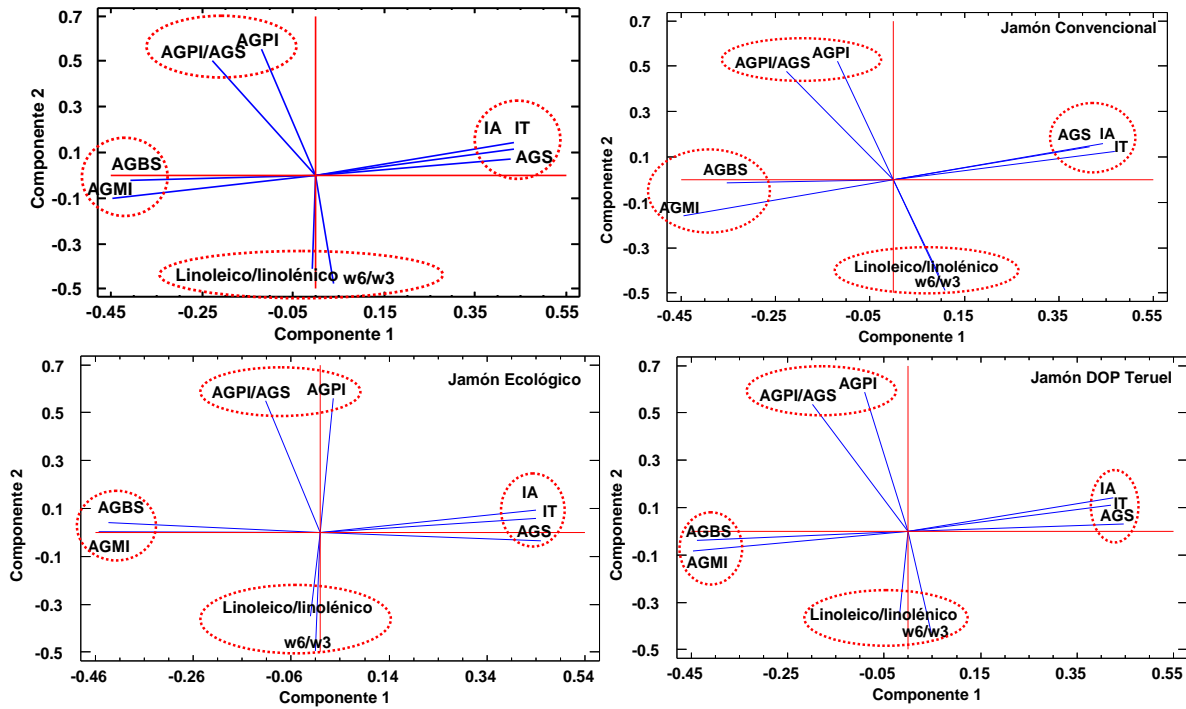


Figura 100. Gráficos de dispersión de los pesos de los componentes principales de parámetros de calidad de la grasa del jamón. Estudio global e individualizado por procedencia.

Las diferencias encontradas atendiendo a la procedencia del jamón, es que los de producción convencional mantienen relaciones ligeramente superiores con los parámetros de los AGS y de las relaciones entre ω_6 y ω_3 , mientras que los de procedencia ecológica y DOP Teruel muestran relaciones ligeramente más altas para los ácidos grasos beneficiosos para la salud y los monoinsaturados.

Por último, para el estudio multivariante de la fracción volátil se pretende obtener un número pequeño de combinaciones de las 64 variables que se incluyen en los parámetros de naturaleza aromática de la carne y jamón, obteniendo 6 factores principales, con los cuales se consigue explicar el 89.49% de la variabilidad de los resultados originales. Se observa que los jamones estudiados en este trabajo se pueden clasificar en las dos categorías, los que presentan altos valores de la componente 1, se caracterizan principalmente por estar relacionados con los ésteres (hexanoato de metilo, decanoato de metilo y el heptanoato de etilo), terpenos (α -pineno, canfeno, limoneno, carvona, 1,8-cineol y α -linalol), con los alcoholes (1-octen-3-ol, 3,5-octadien-2-ol, 1-hexanol, 1-heptanol y 1-octanol), con los dos derivados oxigenados del benceno (anetol y estragol), con la práctica totalidad de los aldehídos (hexanal, heptanal, (Z)-2-heptenal, (E,E)-2,4-heptadienal, (E)-2-octenal, nonanal, (E)-2-nonenal, decanal,

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

(E,E)-2,4-nonadienal, anisaldehído, (E)-2-decenal, 2-hexenal y benzaldehído), cetonas (2-heptanona y acetofenona), con hidrocarburos (p-cimeno, naftaleno, β -metilnaftaleno, α -metilnaftaleno y bifenilo), con alcanos (undecano y tetradecan) y con otros compuestos aromáticos (γ -hexalactona, benzotiazol, γ -octalactona, alconfor y mentona), en esta zona se localizan principalmente los jamones secados en cámara. En la parte central aparecen tres compuestos correlacionados entre sí que son el tolueno, β -pineno y (E,E)-2,4-decadienal y el resto de compuestos se agrupan en otra zona que se caracteriza por valores bajos de la componente 1 y altos de la componente 2, en estas zonas se ubicarían los jamones secados con el sistema de ventana abierta.

La figura 101 muestra la dispersión de los pesos de los componentes principales de la fracción volátil, observándose el alto peso del grupo donde se incluyen la práctica totalidad de los aldehídos, alcoholes, así como otros componentes importantes para el aroma.

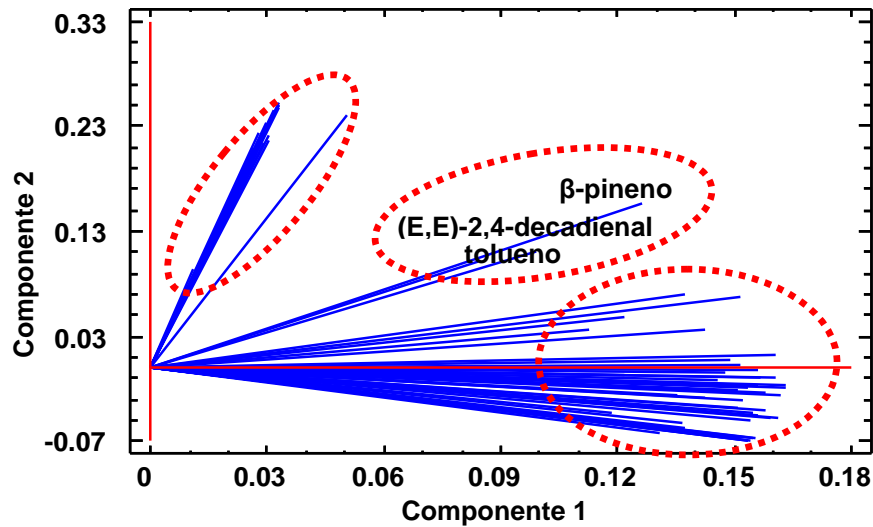


Figura 101. Gráfico de dispersión de los pesos de los componentes principales de los compuestos volátiles.

Teniendo en cuenta que la fracción aromática se ha realizado exclusivamente para la carne y para el momento final, transcurridos los 18.5 meses de curación del jamón, se realiza el mismo estudio de componentes principales, evaluando la fracción volátil, pero diferenciando entre el momento 1 (carne) y el momento 4 (jamón).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 102 muestra la dispersión de los pesos de los componentes principales de la fracción volátil, diferenciando entre la carne y el jamón, observándose la misma tendencia existente para el total, es decir, el alto peso del grupo donde se incluyen la práctica totalidad de los aldehídos, alcoholes, así como otros componentes importantes para el aroma. Con ligeras diferencias ya que en el caso del jamón se separan algunos componentes alcanos como undecano y tetradecano o el etanol, concentrándose más las variables correlacionadas con los aldehídos y alcoholes.

Los jamones que se sitúan aromáticamente con esta concentración volátil son también los que presentan mayor contenido en grasa, y se separan de los que muestran parámetros de calidad de la grasa en el jamón.

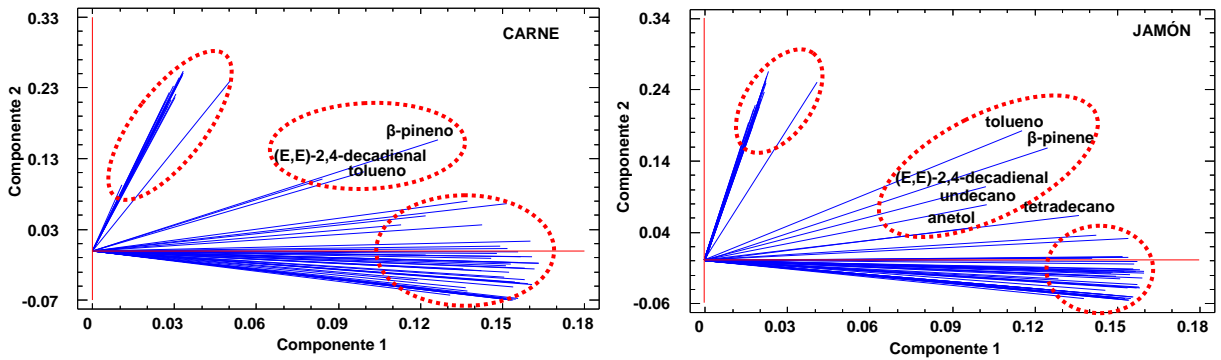


Figura 102. Gráficos de dispersión de los pesos de los componentes principales de los compuestos volátiles de la carne y del jamón.

5. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones obtenidas de la presente investigación son:

1. Los perniles procedentes de cerdos criados en sistemas convencionales, tras un proceso de curación del 18.5 meses, dan lugar a jamones con mayor contenido en humedad, sobre todo si se secan en cámara, lo que repercute en un mayor control de aspectos técnicos durante el proceso de secado, así como en la calidad del producto y su vida útil.

2. Los jamones de procedencia convencional se caracterizan por un mayor contenido en proteína, minerales totales (más si se secan en ventana) y grasa, sobre todo ácidos grasos saturados, en especial behénico, palmítico, esteárico y mirístico, lo que repercute en peores índices de calidad de la grasa, sobre todo si el secado se realiza en ventana. Son jamones con alto valor de luminosidad y bajo valor del rojo, pero en su carne la concentración de nitratos y nitritos es mayor. Los compuestos aromáticos más representativos de estos jamones son p-xileno y pulegona.

3. Los perniles de procedencia ecológica se caracterizan por los valores altos del parámetro a* (ligado al color rojo), siendo la carne ecológica en la recepción, la de mayor valor de este componente del color. Nutricionalmente el jamón responde a un menor contenido mineral, especialmente al secarse en ventana, humedad y grasa, siendo ésta de mayor calidad, por el alto contenido en AGMI, AGPI y sus relaciones. En concreto, para el valor de los ácidos grasos beneficiosos para la salud cuando los jamones se secan en ventana, potenciándose el efecto cuando el proceso de secado es corto (aproximadamente 8 meses). La fracción volátil de los jamones de producción ecológica es muy robusta, destacando compuestos como el heptanoato de etilo, hexanal, (E,E)-3,5-octadien-2-ona, p-cimeno, naftaleno, α -metilnaftaleno y bifenilo, metil tridecano, heptanoico y tolueno, que se caracterizan por aromas frutales, forestales y a grasa añeja.

4. Los perniles procedentes de la DOP Jamón de Teruel se caracterizan por presentar elevados valores altos y estables durante todo el proceso del parámetro rojo y del croma. Se trata de jamones con menor concentración en humedad y proteína y alto contenido en grasa, siendo el ácido graso eicosanoico el más representativo. En la curación larga (18.5 meses) los jamones de la DOP Teruel proporcionan menor contenido en los ácidos grasos saturados palmítico y esteárico, pero mayor de mirístico y de oleico, logrando que los índices trombogénico y aterogénico presenten valores más bajos, sobre todo si los jamones se secan con el sistema de ventana abierta y logrando un aumento de los ácidos grasos beneficiosos para la salud. Los componentes volátiles más representativos para estos jamones son los terpenos y sus oxigenados, que se caracterizan por aromas dulces y florales.

5. El sistema de secado no afecta a los parámetros de color, sin embargo, las condiciones cambiantes de temperatura y aireación en el secado con ventana abierta, influye en los procesos oxidativos, generando jamones con menor contenido en proteína, sodio y niveles superiores del ácido graso oleico. El secado en cámara da lugar a jamones con mayor contenido proteico, ácidos grasos saturados y alto valor del índice aterogénico. Generando mayor concentración de las sales nítricas en la carne. El secado en cámara produce una mayor fracción de los componentes volátiles, en particular alcoholes, p-cimeno, naftaleno, α -metilnaftaleno, undecano, tetradecano, ácido graso hexanoico y compuestos heterocíclicos. Mientras que el secado en ventana abierta genera jamones con mayores niveles de tolueno, β -pineno y (E,E)-2,4-decadienal.

6. La luminosidad de la carne de jamón se relaciona positivamente con la humedad y de forma negativa con la proteína, contenido mineral total, hierro, sodio y con la mayoría de compuestos volátiles. Mientras que los parámetros b^* , C^* y H^* , muestran tendencias opuestas a las observadas para la luminosidad. Existen relaciones positivas entre la humedad de la carne de jamón, el total de ácidos grasos saturados y poliinsaturados de la grasa y de forma individual, el esteárico, linoleico, linolénico y araquidónico con los compuestos volátiles. De forma que el ácido linolénico potencia la formación de los aromas aceitosos del ácido decanoico, como componente de la fracción volátil, alcanzando un nivel de explicación del 61.54%. Parámetros como la grasa, el contenido total de ácidos grasos monoinsaturados, el ácido oleico, las proteínas y los minerales presentan una relación negativa con los componentes de la fracción volátil, desapareciendo sus concentraciones para dar paso a los componentes con mayor implicación en la formación del aroma.

7. El análisis discriminante permite clasificar los jamones en función de su procedencia empleando 16 variables, obteniendo un porcentaje de éxito del 63.19% para el jamón convencional, 78.32% para el ecológico y 63.89% para el DOP Teruel y que responde a la siguiente fórmula:

$$0.38612 * L^* - 1.85193 * a^* - 7.18943 * b^* + 8.34732 * C^* + 0.540583 * H^* + 0.179854 * \text{Humedad} - 0.0148779 * \text{Grasa} + 0.28145 * \text{Proteína} + 0.460236 * \text{Cenizas} - 0.0383263 * \text{Hierro} - 0.402898 * \text{Sodio} - 0.287828 * \text{AGS} + 0.292495 * \text{AGMI} + 0.465763 * \text{AGPI} + 0.684234 * \text{Nitratos} - 0.0328719 * \text{Nitritos}.$$

También se logran modelos adecuados para la clasificación de los jamones en función del sistema de secado con los parámetros de color, ácidos grasos y componentes terpenoides, con un porcentaje de acierto entre el 42.25% y el 77.14%

6. BIBLIOGRAFÍA

- Adamsen, C.E., Møller, J.K., Laursen, K., Olsen, K., Skibsted, L.H. (2006). Zn-porphyrin formation in cured meat products: Effect of added salt and nitrite. *Meat Science*, 72(4): 672-679.
- Adzitey, F., Nurul, H. (2011). Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: Causes and measures to reduce these incidences—A mini review. *International Food Research Journal*, 18: 11-20.
- Aktaş, N., Kaya, M. (2001). The influence of marinating with weak organic acids and salts on the intramuscular connective tissue and sensory properties of beef. *European Food Research and Technology*, 213(2): 88–94.
- Alanís, E., Lara, P., Guerrero, I. (1999). Proteolytic activity of four strains of *Pseudomonas* on crude extracts of contractile proteins. *Food Chemistry*, 67(1): 45-51.
- Albertí, P., Panea, B., Sañudo, C., Olleta, J.L., Ripoll, G., Ertbjerg, P., Christensen, M., Gigli, S., Failla, S., Concetti, S., Hocquette, J.F., Jailler, R., Rudel, S., Renand, G., Nute, G.R., Richardson, R.I., Williams, J.L. (2008). Live weight, body size and carcass characteristics of young bulls of fifteen European breeds. *Livestock Science*, 114(1): 19-30.
- Alfaia, C.M., Castro, M.F., Reis, V.A., Prates, J.M., de Almeida, I.T., Correia, A.D., Dias, M.A. (2004). Changes in the profile of free amino acids and biogenic amines during the extended short ripening of Portuguese dry-cured ham. *Food Science and Technology International*, 10(5): 297-304.
- Aliño, M., Grau, R., Fuentes, A., Barat, J.M. (2010). Influence of low-sodium mixtures of salts on the post-salting stage of dry-cured ham process. *Journal of Food Engineering*, 99(2): 198-205.
- Andersen, H.J., Skibsted, L.H. (1991). Oxidative stability of frozen pork patties. Effect of light and added salt. *Journal of Food Science*, 56: 1182-1184.
- Andersen, H.J., Oksbjerg, N., Young, J.F., Therkildsen, M. (2005). Feeding and meat quality—a future approach. *Meat science*, 70(3): 543-554.
- ANICE. Asociación Nacional de Industrias de la Carne de España (2020). El sector cárnico español. Disponible en: <https://www.anice.es/industrias>
- Antequera, T., López-Bote, C.J., Córdoba, J.J., García, C., Asensio, M.A., Ventanas, J., Díaz, I. (1992). Lipid oxidative changes in the processing of Iberian pig hams. *Food Chemistry*, 45(2): 105-110.

- Antequera, T., Córdoba, J.J., Ruiz, J., Martín, L., García, C., Bermúdez, M.E., Ventanas, J. (1993). Free fatty acids during ripening of Iberian ham. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 33: 197-208.
- AOAC. Association of Official Agricultural Chemists. (2000). Official methods of analysis of AOAC international. Editor, Dr William Horwitz. 17^º edición. Publicado por AOAC internacional. Gaithersburg, Maryland USA.
- Argemí-Armengol, I., Villalba, D., Ripoll, G., Álvarez-Rodríguez, J. (2019). Genetic but not lean grade impact on growth, carcass traits and pork quality under organic husbandry. *Livestock Science*, 227: 75-81.
- Arias-Rico, J., Cerón-Sandoval, M.I., Sandoval-Gallegos, E.M., Ramírez-Moreno, E., Fernández-Cortés, T.L., Jaimez-Ordaz, J., Contreras-López, E., Añorve-Morga, J. (2018). Evaluation of consumption of poultry products enriched with omega-3 fatty acids in anthropometric, biochemical, and cardiovascular parameters. *J. Food Quality*, e9620104.
- Armenteros, M. (2010). Reducción de sodio en lomo y jamón curados. Efecto sobre la proteólisis y las características sensoriales. Tesis Doctoral. UPV. 268 pp.
- Armenteros, M., Aristoy, M.C., Toldrá, F. (2009). Effect of sodium, potassium, calcium and magnesium chloride salts on porcine muscle proteases. *European Food Research and Technology*, 229(1): 93-98.
- Armero, E., Baselga, M., Aristoy, M.C., Toldrá, F. (1999). Effects of sire type and sex on pork muscle exopeptidase activity, natural dipeptides and free amino acids. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(10): 1280-1284.
- Armero, E., Flores, M., Toldrá, F., Barbosa, J.A., Olivet, J., Pla, M., Baselga, M. (1999). Effects of pig sire type and sex on carcass traits, meat quality and sensory quality of dry-cured ham. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(9): 1147-1154.
- Arnau, J. (1993). Tecnología de la elaboración del jamón curado. Publicación de la Sociedad Española de Microbiología, 9: 3-9.
- Arnau, J. (2007). Factores que afectan a la salazón del jamón curado. *Eurocarne*, 160: 1-15.
- Arnau, J. (2013). Principales problemas tecnológicos en la elaboración del jamón curado. *Eurocarne*, 216: 60-98.
- Arnau, J., Hugas, M., Monfort, J.M. (1990). Jamón curado: Aspectos técnicos. Girona: Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentaries. 352 pp.

- Arnau, J., Gou, P., Comaposada, J. (2003). Effect of the relative humidity of drying air during the resting period on the composition and appearance of dry-cured ham surface. *Meat Science*, 65: 1275-1280.
- Arnau, J., Guàrdia, M.D., Gratacós-Cubarsí, M., Fernández, M., Hierro, E., Roncalés, P., Carballo, J., Villegas, B., Ruiz, J., Sanjuan, N. (2013). Implicaciones de la reducción de los niveles de uso de nitratos y nitritos en la seguridad, conservación, características sensoriales y modificaciones tecnológicas de los productos cárnicos crudos-curados. *Avances en la producción de elaborados cárnicos*, capítulo V: 66-79.
- Bañón, S. (1996). Calidad tecnológica de la carne destinada a la elaboración de jamón curado en la Región de Murcia y consecuencias de su transformación. Tesis Doctoral. UM. 364 pp.
- Bañón, S., Gil, M.D., Granados, M.V., Garrido, M.D. (1998). The effect of using PSE meat in the manufacture of dry-cured ham. *Zeitschrift Für Lebensmitteluntersuchung Und Forschung A*, 206(2): 88-93.
- Bañón, S., Cayuela, J.M., Granados, M.V., Garrido, M.D. (1999). Pre-cure freezing affects proteolysis in dry-cured hams. *Meat Science*, 51(1): 11-16.
- Bañón, S., Granados, M.V., Cayuela, J.M., Gil, M.D., Costa, E., Garrido, M.D. (2000). Calidad de la grasa obtenida a partir de cerdos magros. *Anales de veterinaria de Murcia*, 16: 77-88.
- Bayés-García, L., Tres, A., Vichi, S., Calvet, T., Cuevas-Diarte, M.A., Codony, R., Boatella, J., Caixach, J., Ueno, S., Guardiola, F. (2016). Authentication of Iberian dry-cured ham: New approaches by polymorphic fingerprint and ultrahigh resolution mass spectrometry. *Food Control*, 60: 370-377.
- Becerril-Herrera, M., Alonso-Spilsbury, M., Lemus-Flores, C., Guerrero-Legarreta, I., Olmos-Hernández, A., Ramírez-Necochea, R., Mota-Rojas, D. (2009). CO₂ stunning may compromise swine welfare compared with electrical stunning. *Meat Science*, 81(1): 233–237.
- Becker, E.M., Westermann, S., Hansson, M., Skibsted, L.H. (2012). Parallel enzymatic and non-enzymatic formation of zinc protoporphyrin IX in pork. *Food Chemistry*, 130(4): 832-840.
- BEDCA. Base de Datos Española de Composición de Alimentos (2020). Consulta de alimentos. Disponible en: <https://www.bedca.net/bdpub/>.
- Benedini, R., Raja, V., Parolari, G. (2008). Zinc-protoporphyrin IX promoting activity in pork muscle. *LWT-Food Science and Technology*, 41(7): 1160-1166.

- Benedini, R., Parolari, G., Toscani, T., Virgili, R. (2012). Sensory and texture properties of italian typical dry-cured hams as related to maturation time and salt content. *Meat Science*, 90: 431-437.
- Berdagué, J.L., Denoyer, C., Le Quéré, J.L., Semon, E. (1991). Volatile components of dry-cured ham. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 39: 1257-1261.
- Berdagué, J.L., Bonnaud, N., Rousset, S., Tourialle, C. (1993). Influence of pig crossbreed on the composition volatile compound content and flavour of dry cured ham. *Meat Science*, 34: 119-129.
- Bermúdez, R., Franco, D., Carballo, J., Sentandreu, M., Lorenzo, J. (2014). Influence of muscle type on the evolution of free amino acids and sarcoplasmic and myofibrillar proteins through the manufacturing process of Celta dry-cured ham. *Food Research International*, 56: 226-235.
- Bermúdez, R., Franco, D., Carballo, J., Lorenzo, J.M. (2015). Influence of type of muscle on volatile compounds throughout the manufacture of Celta dry-cured ham. *Food Science and Technology International*, 21(8): 581-592.
- Boehm, M.L., Kendall, Y.L., Thompson V.F., Goll, D.E. (1998). Changes in the calpains and calpastatin during postmortem storage of bovine muscle. *Journal of Animal Science*, 76: 2415-2434.
- Bollen, M., Perez, R., Koot, A., van Ruth, S. (2009). Authentication of traditional, dry-cured hams: volatile organic compounds measured by PTR-MS. *Proceedings of 4th International Conference on Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry and Its Applications*. Ed. by Hansel A and Dunkl J. Innsbruck University Press, Innsbruck: 303-307
- Bolzoni, L., Barbieri, G., Virgili, R. (1996). Changes in volatile compounds of parma ham during maturation. *Meat Science*, 43 (3-4): 301-310.
- Bonelli, A.M., Schifferli, R.C. (2001). Síndrome Estrés Porcino. *Archivos de medicina veterinaria*, 33(2): 125-135.
- Bonneau, M., Lebret, B. (2010). Production systems and influence on eating quality of pork. *Meat science*, 84(2): 293-300.
- Bosi, P., Russo, V. (2004). The production of the heavy pig for high quality processed products. *Italian Journal of Animal Science*, 3: 309-321.
- Bou, R., Llauger, M., Arnau, J., Fulladosa, E. (2018). Zinc-protoporphyrin content in commercial Parma hams is affected by proteolysis index and marbling. *Meat Science*, 139: 192-200.

- Bou, R., Llauger, M., Arnau, J., Olmos, A., Fulladosa, E. (2020). Effects of post mortem pH and salting time on Zinc-protoporphyrin content in nitrite-free Serrano dry-cured hams. *Food Research International*, 109156.
- Bouvard, V., Loomis, D., Guyton, K. Z., Grosse, Y., Ghissassi, F.El., Benbrahim-Tallaa, L., Guha, N., Mattock, H., Straif, K., Corpet, D. (2015). Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. *The Lancet Oncology*, 16(16): 1599-1600.
- Buscailhon, S., Berdague, J. L., Gandemer, G., Touraille, C., Monin, G. (1994a). Effects of initial pH on compositional changes and sensory traits of french dry-cured hams. *Journal of muscle foods*, 5(3): 257-270.
- Buscailhon, S., Gandemer, G., Monin, G. (1994b). Time-related changes in intramuscular lipids of French dry-cured ham. *Meat Science*, 37(2): 245–255.
- Calvarro, J., Ruiz, J. (2011). Cuantificación de nitrosaminas en productos cárnicos con diferentes niveles de sales nitrificantes. En: “Productos cárnicos para el siglo XXI. Seguros, nutritivos y saludables”. Eds. Ordoñez, J.A., Córdoba, J.J. y Ventanas, J. Universidad de Extremadura. 318 pp.
- Campo, M.M., Sierra, I. (2011). Fatty acid composition of selected varieties of Spanish dry-cured ham. Surveys from 1995 and 2007. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9 (1): 66-73.
- Čandek-Potokar, M., Škrlep, M. (2012). Factors in pig production that impact the quality of dry-cured ham: a review. *Animal*, 6(2): 327-338.
- Carrapiso, A.I., Jurado, Á., Timón, M.L., García, C. (2002a). Odor-Active Compounds of Iberian Hams with Different Aroma Characteristics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(22): 6453–6458.
- Carrapiso, A.I., Ventanas, J., García, C. (2002b). Characterization of the Most Odor-Active Compounds of Iberian Ham Headspace. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(7): 1996–2000.
- Carrapiso, A.I., Carrapiso, M.R. (2005). Precursors for dry-cured ham flavor. En: D. K. Weerasinghe, M.K. Sukan (ed.). *Process and reaction flavors. Recent developments*. ACS Symposium Series 905. American Chemical Society: Whashington DC. Chapter 5: 70-82.
- Carroll, A.E., Doherty, T.S. (2019). Meat consumption and health: food for thought. *Annals of Internal Medicine*, 171 (10): 787-769.

- Cassens, R.G. (1994). Meat Preservation: Preventing Losses and Assuring Safety. Food and Nutrition Press, Inc. Trumbull. Connecticut. USA: 11-31.
- Cassini, A., Diaz Högberg, L., Plachouras, D., Quattrocchi, A., Hoxha, A., Simonsen, G.S., Colomb-Cotinat, M., Kretzschmar, M.E., Devleeschauwer, B., Cecchini, M., Ouakrim, D.A., Oliveira, T.C., Struelens, M.J., Suetens, C., Monnet, D.L., the Burden of AMR Collaborative Group (2019). Attributable deaths and disability-adjusted life-years caused by infections with antibiotic-resistant bacteria in the EU and the European Economic Area in 2015: a population-level modelling analysis. *The Lancet infectious diseases*, 19(1). 56-66.
- Castigliengo, L., Armani, A., Guidi, A. (2012). Meat color. En: *Handbook of Meat and Meat Processing*. 2nd ed. (Ed. YH Hui). CRC: 81-92.
- Castrillón, W.E., Fernández, J.A., Restrepo, L.F. (2007). Variables asociadas con la presentación de carne PSE (Pálida, Suave, Exudativa) en canales de cerdo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(3): 327-338.
- Cava, R., Ruiz, J., López-Bote, C. J., Martín, L., García, C., Ventanas, J., Antequera, T. (1997). Influence of finishing diet on fatty acid profiles of intramuscular lipids, triglycerides and phospholipids in muscle of the Iberian pig. *Meat Science*, 45: 263-270.
- Cava, R., Ruiz, J., Ventanas, J., Antequera, T. (1999). Oxidative and lipolytic changes during ripening of Iberian hams as affected by feeding regime: extensive feeding alpha-tocopheryl acetate supplementation. *Meat Science*, 52: 165-172.
- Cava, R., Ventanas, J., Florencio Tejada, J., Ruiz, J., Antequera, T. (2000). Effect of free-range rearing and α -tocopherol and copper supplementation on fatty acid profiles and susceptibility to lipid oxidation of fresh meat from Iberian pigs. *Food Chemistry*, 68(1): 51-59.
- Cava, R., Manuel Ferrer, J., Estévez, M., Morcuende, D., Toldrá, F. (2004). Composition and proteolytic and lipolytic enzyme activities in muscle *Longissimus dorsi* from Iberian pigs and industrial genotype pigs. *Food Chemistry*, 88(1): 25-33.
- Channon, H.A., Payne, A.M., Warner, R.D. (2000). Halothane genotype, pre-slaughter handling and stunning method all influence pork quality. *Meat Science*, 56(3): 291-299.
- Channon, H.A., Payne, A.M., Warner, R.D. (2003). Effect of stun duration and current level applied during head to back and head only electrical stunning of pigs on pork quality compared with pigs stunned with CO₂. *Meat Science*, 65(4): 1325-1333.

- Chilliard, Y., Ferlay, A. (2004). Dietary lipids and forages interactions on cow and goat milk fatty acid composition and sensory properties. *Reprod. Nutr. Dev.*, 44: 467-492.
- Cho, I.C., Bratzler, I.J. (1970). Effect of sodium nitrite on flavor of cured pork. *Journal of Food Science*, 35(5): 668-670.
- Cilla, I., Martínez, L., Guerrero, L., Guàrdia, M. D., Arnau, J., Altarriba, J., Roncalés, P. (2006). Consumer beliefs and attitudes towards dry-cured ham and protected designation of origin Teruel ham in two Spanish regions differing in product knowledge. *Food Science and Technology International*, 12(3): 229-240.
- Córdoba, J.J., Antequera, T., Ventanas, J., Asensio, M.A., López-Bote, C., García, C. (1991). Transformaciones de los componentes nitrogenados durante la maduración del jamón de cerdo ibérico. *Cárnica 2000*, 12: 54-63.
- Córdoba, J.J., Antequera, T., García, C., Ventanas, J., López Bote, C., Asensio, M.A. (1994a). Evolution of free amino acids and amines during ripening of Iberian cured ham. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(10): 2296-2301.
- Córdoba, J.J., Antequera, T., Ventanas, J., López-Bote, C., García, C., Asensio, M.A. (1994b). Hydrolysis and loss of extractability of proteins during ripening of iberian ham. *Meat Science*, 37(2): 217-227.
- Corella, D., Llisterri, J.L., Monereo, S., Varela, G. (2016). Guía de recomendación de la Carne de Cerdo de Capa Blanca. Documento de consenso dirigido a profesionales de la salud. *Interporc*. 20 pp.
- Coutron-Gambotti, C., Gandemer, G. (1999). Lipolysis and oxidation in subcutaneous adipose tissue during dry-cured ham processing. *Food Chemistry*, 64(1): 95-101.
- Coutron-Gambotti, C., Gandemer, G., Casabianca, F. (1998). Effects of substituting a concentrated diet for chestnuts in the lipid traits of muscle and adipose tissues in Corsican and in Corsican x Large White pigs reared in a sylvo-pastoral system in Corsica. *Meat Science*, 50; 163-174.
- Cross, C.K., Ziegler, P. (1965). A Comparison of the Volatile Fractions from Cured and Uncured Meat. *Journal of Food Science*, 30(4): 610-614.
- Cutrignelli, M.I., Calabrò, S., Bovera, F., Tudisco, R., D'Urso, S., Marchiello, M., Piccolo, V., Infascelli, F. (2008). Effects of two protein sources and energy level of diet on the performance of young Marchigiana bulls. 2. Meat quality. *Ital. J. Anim. Sci.*, 7: 271-285.

- Deleuze, I.P. (2006). Legislación alimentaria: Código Alimentario Español y disposiciones complementarias. 7ª ed. Tecnos. Madrid: 85-87.
- Delgado-Chavero, C.L., Zapata-Márquez, E., García-Casco, J.M., Paredes-Torronteras, A. (2013). Statistical model for classifying the feeding systems of Iberian pigs through Gas Chromatography (GC-FID) and Isotope Ratio Mass Spectrometry (GC-C-IRMS). *Grasas y aceites*, 64(2): 157-165.
- Díaz-Caro, C., García-Torres, S., Elghannam, A., Tejerina, D., Mesias, F.J., Ortíz, A. (2019). Is production system a relevant attribute in consumers' food preferences? The case of Iberian dry-cured ham in Spain. *Meat Science*, 158: 107908.
- Dokmanovic, M., Baltic, M.Z., Duric, J., Ivanovic, J., Popovic, L., Todorovic, M., Markovic, R., Pantic, S. (2015). Correlations among stress parameters, meat and carcass quality parameters in pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(3): 435-441.
- Domínguez, M. C., Gutiérrez, L.M., López, A., Seco, F., Zumalacárregui, J.M. (1989). Evolución de los principales grupos de microorganismos durante la maduración del chorizo de León. *Alimentaria*, 199: 11-15.
- Domínguez-Gómez, M.J., Raigón, M.D. (2018). Valoración de la carne ecológica, convencional y de denominación de origen protegida de Teruel para el proceso de secado en el curado de jamón. Actas del XIII Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE). Sistemas agroalimentarios agroecológicos y cambio climático. Logroño, España. 511 - 520.
- Domínguez-Gómez, M.J., Raigón, M.D. (2019). Influencia del sistema de secado al natural en la calidad del jamón curado ecológico y no ecológico. X Congreso Mundial del Jamón. Madrid, España.
- Drumm, T.D., Spanier, A.M. (1991). Changes in the content of lipid autoxidation and sulfur-containing compounds in cooked beef during storage. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 39 (2): 336-343.
- D'evoli, L., Salvatore, P., Lucarini, M., Nicoli, S., Aguzzi, A., Gabrielli, P., Lombardi-Boccia, G. (2009). Nutritional value of traditional Italian meat-based dishes: Influence of cooking methods and recipe formulation. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(5): 38-49.
- Echenique, A., Repiso, L., Capra, G. (2009). Composición química y calidad sensorial de jamones curados provenientes de cerdos alimentados con una dieta rica en ácido oleico y pasturas. *Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay. INNOTEC*: 28-32.

- Edward, S.A. (2005). Product quality attributes associated with outdoor. *Livestock Production Science*, 94: 5-14.
- EFSA. Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA). (2010). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol. *EFSA Journal*, 8(3): 1461.
- Elika. (2020). Ficha nitratos. Seguridad alimentaria. Disponible en: <https://seguridadalimentaria.elika.eus/wp-content/uploads/2018/01/28.Nitratos.pdf>
- Escudero, E. (2012). Estudio de pequeños péptidos (< 1500 Da) con actividad antihipertensiva y antioxidante generados en el jamón curado. Tesis doctoral. UPV. 181 pp.
- Essén-Gustavsson, B., Karlström, K., Lundström, K. (1992). Muscle fibre characteristics and metabolic response at slaughter in pigs of different halothane genotypes and their relation to meat quality. *Meat Science*, 31(1): 1-11.
- Essén-Gustavsson, B., Karlsson, A., Lundström, K., Enfält, A.C. (1994). Intramuscular fat and muscle fibre lipid contents in halothane-gene-free pigs fed high or low protein diets and its relation to meat quality. *Meat Science*, 38: 269-277.
- Estévez, M. (2011). Protein carbonyls in meat systems: A review. *Meat science*, 89(3): 259-279.
- Etemadi, A., Sinha, R., Ward, M.H., Graubard, B.I., Inoue-Choi, M., Dawsey, S.M., Abnet, C.C. (2017). Mortality from different causes associated with meat, heme iron, nitrates, and nitrites in the NIH-AARP Diet and Health Study: population based cohort study. *BMJ*: 357.
- Feiner, G. (2006). *Meat products handbook: Practical science and technology*. Woodhead Publishing. Cambridge. UK. Chapter 7.
- Fernández-López, J., Zhi, N., Aleson-Carbonell, L., Pérez-Alvarez, J.A., Kuri, V. (2005). Antioxidant and antibacterial activities of natural extracts: application in beef meatballs. *Meat science*, 69(3): 371-380.
- Fernández, M., Ordóñez, J.A., Cambero, I., Santos, C., Pin, C., de la Hoz, L. (2007). Fatty acid compositions of selected varieties of Spanish dry ham related to their nutritional implications. *Food Chemistry*, 101(1): 107-112.
- Flores, M., Toldrá, F. (2020). Chemistry, safety, and regulatory considerations in the use of nitrite and nitrate from natural origin in meat products. *Meat Science*, 108272.

- Flores, J, Nieto, P., Bermell, S., Alberola, J. (1988). Cambios en los ácidos grasos de los lípidos del jamón durante el proceso de curado. II. Tejido adiposo subcutáneo. *Revista Agroquímica de Tecnología Alimentaria*, 28: 90-96.
- Flores, M., Grimm, C.C., Toldrá, F. Spanier, A.M. (1997). Correlations of Sensory and Volatile Compounds of Spanish “Serrano” Dry-Cured Ham as a Function of Two Processing Times. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(6): 2178–2186.
- Flores, M., Sanz, Y., Spanier, A.M., Aristoy, M. C., Toldrá, F. (1998). Contribution of muscle and microbial aminopeptidases to flavor development in dry-cured meat products. *Developments in food science*, 40: 547-557.
- Fuentes, V., Vetanas, J., Morcuende, D., Estéves, M., Ventanas, S. (2010). Lipid and protein oxidation and sensory properties of vacuum-packaged dry-cured ham subjected to high hydrostatic pressure. *Meat Science*, 85: 506-514.
- Fuentes, V., Ventanas, S., Ventanas, J., Estévez, M. (2014). The genetic background affects composition, oxidative stability and quality traits of Iberian dry-cured hams: purebred Iberian versus reciprocal Iberian× Duroc crossbred pigs. *Meat Science*, 96(2): 737-743.
- Fulladosa, E., Sala, X., Gou, P., Garriga, M., Arnau, J. (2012). K-lactate and high pressure effects on the safety and quality of restructured hams. *Meat Science*, 91(1): 56-61.
- Galián Jiménez, M. (2007). Características de la canal y calidad de la carne, composición mineral y lipídica del cerdo Chato Murciano y su cruce con Ibérico. Efecto del sistema de manejo. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. 366 pp.
- Gallego, M. (2015). Péptidos generados en jamón curado como marcadores de calidad. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Valencia. 275 pp.
- Gallego, M., Mora, L., Toldrá, F. (2018). Evolution of oxidised peptides during the processing of 9 months Spanish dry-cured ham. *Food Chemistry*, 239: 823-830.
- Gandemer, G. (2002). Lipids in muscles and adipose tissues, changes during processing and sensory properties of meat products. *Meat Science*, 62(3): 309-321.
- Garaffo, M.A., Vassallo-Agius, R., Nengas, Y., Lembo, E., Rando, R., Maisano, R., Dugo, G., Giuffrida, D. (2011). Fatty acids profile, atherogenic (IA) and thrombogenic (IT) health lipid indices, of raw roe of blue fin tuna (*thunnus thynnus* L.) and their salted product “bottarga”. *Food and Nutrition Sciences*, 2(7): 736-743.
- García, C., Berdagué, J.J., Antequera, T., López-Bote, C., Córdoba, J.J., Ventanas, J. (1991). Volatile components of dry cured Iberian ham. *Food Chemistry*, 41: 23-32.

- García, I., Díez, V., Zumalacárregui, J.M. (1997). Changes in proteins during the ripening of Spanish dried beef "cecina". *Meat Science*, 46: 379-385.
- García-Garrido, J., Quiles-Zafra, R., Tapiador, J., Luque de Castro, M. (2000). Activity of cathepsin B, D, H and L in Spanish dry-cured ham of normal and defective texture. *Meat Science*, 56: 1-6.
- García-Gil, N., Muñoz, I., Santos-Garcés, E., Arnau, J., Gou, P. (2014). Salt uptake and water loss in hams with different water contents at the lean surface and at different salting temperatures. *Meat Science*, 96(1): 65-72.
- García-González, D., Aparicio, R., Aparicio-Ruiz, R. (2013). Volatile and Amino Acid Profiling of Dry Cured Hams from Different Swine Breeds and Processing Methods. *Molecules*, 18(4): 3927-3947.
- García Gudiño, J., Izquierdo, M., Ayuso, D., González, A., Duarte, J., Pérez, M., Hernández, F. (2014). Efecto del peso de sacrificio y del sexo en el rendimiento de las piezas nobles del Cerdo Ibérico. *Solo Cerdo Ibérico*, 31: 9-17.
- García-Esteban, M., Ruiz, J., Ansorena, D., Astisarán, I. (2005). Evaluación de la calidad sensorial del jamón curado. *Revista Eurocarne*, 135: 1-10.
- García Regueiro, J.A. (2018). Una nota sobre el análisis de nitratos en jamón curado. *Eurocarne*, 266: 43-50.
- Gianelli, M.P., Flores, M., Toldrá, F. (2005). Interactions of soluble peptides and proteins from skeletal muscle on the release of volatile compounds. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(23): 6828-6834.
- Gil, Á., Martínez de Victoria, E., Olza, J. (2015). Indicadores de evaluación de la calidad de la dieta. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 2(1): 127-43.
- Gou, P. (2008). Estrategias para la reducción del contenido de sodio en productos cárnicos. 4º Congreso Nacional de la Carne, Lleida.
- Gou, P., Comaposada, J., Arnau, J. (2002). Meat pH and meat fibre direction effects on moisture diffusivity in salted ham muscles dried at 5 C. *Meat Science*, 61(1): 25-31.
- Gou, P., Zhen, Z.Y., Hortós, M., Arnau, J., Diestre, A., Robert, N., Claret, A., Čandek-Potokar, M., Santé-Lhoutellier, V. (2012). PRKAG3 and CAST genetic polymorphisms and quality traits of dry-cured hams-I. Associations in Spanish dry-cured ham Jamón Serrano. *Meat Science*, 92(4): 346-353.

- Grever, A., Ruiter, A. (2001). Prevention of *Clostridium* outgrowth in heated and hermetically sealed meat products by nitrite-A review. *European Food Research and Technology*, 213: 165-169.
- Grossi, A.B., do Nascimento, E.S., Cardoso, D.R., Skibsted, L.H. (2014). Proteolysis involvement in zinc-protoporphyrin IX formation during Parma ham maturation. *Food research international*, 56: 252-259.
- Guerrero, L., Gou, P., Alonso, P., Arnau, J. (1996). Study of the Physicochemical and Sensorial Characteristics of Dry-Cured Hams in Three Pig Genetic Types. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 70 (4): 526-530.
- Harcombe, Z., Baker, J.S., Davies, B. (2017). Evidence from prospective cohort studies does not support current dietary fat guidelines: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 51(24): 1743-1749.
- Håseth, T.T., Sørheim, O., Høy, M., Egelanddal, B. (2012). Use of computed tomography to study raw ham properties and predict salt content and distribution during dry-cured ham production. *Meat Science*, 90(3): 858-864.
- Hernández, E., Huerta, T. (1993). Evolución de los parámetros microbiológicos del jamón curado. *Microbiología*, 9: 10-19.
- Honikel, K.O. (2008). The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat Science*, 78: 68-76.
- Honikel, K.O. (2010). Curing. En: Toldrá, F. (Ed.), *Handbook of Meat Processing*. Blackwell Publishing, Iowa: 127-141.
- Hoz, L., Cambero, I., Santos, C., Herranz, B., Ordóñez, J.A. (2007). Fatty acids and sensory characteristics of Spanish dry-cured loin enriched on α -linolenic acid and α -tocopherol. *Food Chemistry*, 101: 1701-1706.
- Hugas, M., Arnau, J., Roca, M. (1987) Estudio de la evolución microbiana y de los parámetros físico-químicos en el jamón curado, influencia de varios conservadores comerciales en la flora. *Institut de Recerca i tecnologia agroalimentàries*, 352: 17-46.
- Hui, Y.H. (2012). *Handbook of meat and meat processing*. CRC Press. LLC. Boca Ratón, Florida 1002 pp.
- Hui, Y., Guerrero, I., Rosmini, M. (2006). *Ciencia y Tecnología de Carnes*. Ed. Limusa, México D.F. 634 pp.

- Iacumin, L., Cattaneo, P., Zuccolo, C., Galanetto, S., Acquafredda, A., Comi, G. (2019). Natural levels of nitrites and nitrates in San Daniele dry cured ham PDO, and in meat, salt and sugna used for its production. *Food Control*, 100: 257-261.
- Irurita, M., López, L., Irurita, J., Déniz, C., López, J.A., Godoy, R.C., García, F.S. (2007). Utilidad del índice aterogénico en la predicción de enfermedad coronaria prematura. *Clínica e Investigación en Arteriosclerosis*, 19(3): 136-142.
- Isabel, B., López-Bote, C.J., de la Hoz, L., Timón, M., García, C., Ruiz J. (2003). Effects of feeding elevated concentrations of monounsaturated fatty acids and vitamin E to swine on characteristics of dry cured hams. *Meat Science*, 64(4): 475–482.
- Jiménez-Colmenero, F., Ventanas, J., Toldrá, F. (2010). Nutritional composition of dry-cured ham and its role in a healthy diet. *Meat Science*, 84 (4): 585-593.
- Jurado, Á., García, C., Timón, M. L., Carrapiso, A.I. (2007). Effect of ripening time and rearing system on amino acid-related flavour compounds of Iberian ham. *Meat Science*, 75(4): 585-594.
- Kappeler, R., Eichholzer, M., Rohrmann, S. (2013). Meat consumption and diet quality and mortality in NHANES III. *European Journal of Clinical Nutrition*, 67(6): 598-606.
- Kemp, J.D., Fox, J.D., Moody, W.G. (1974). Cured ham properties as affected by nitrate and nitrite and fresh pork quality. *Journal of Food Science*, 39: 972-976.
- Koohmaraie, M. (1990). Quantification of Ca²⁺-dependent protease activities by hydrophobic and ion-exchange chromatography. *Journal of Animal Science*, 68(3): 659-665.
- Kopp, J. (1971). Evolution qualitative du collagène musculaire de bovin en fonction de l'âge des animaux. Conséquences sur la tendreté de la viande. *Bull Tech. C.R.Z.V. Theix., INRA*, 5: 47-55.
- Kouba, M., Sellier, P. (2011) A review of the factors influencing the development of intermuscular adipose tissue in the growing pig. *Meat Science*, 88: 216-220.
- Larrea, V. (2003). Caracterización química y microestructural del jamón curado Denominación de Origen Teruel. Tesis doctoral UPV. 269 pp.
- Latorre, M.A. (2003). La influencia del peso al sacrificio en ganado porcino. *Ganadería*, 22: 58-62.
- Latorre Gorriz, M., Ripoll, G., García-Belenguer, E., Ariño, L. (2009). The effect of gender and slaughter weight on loin and fat characteristics of pigs intended for Teruel dry-cured ham production. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7: 407-416.

- Lawrie, R.A. (1998). *Ciencia de la carne*. Editorial Acribia. Zaragoza (España). 500 pp.
- Levine, M.E., Suarez, J.A., Brandhorst, S., Balasubramanian, P., Cheng, C.W., Madia, F., Fontana, L., Mirisola, M.G., Guevara-Aguirre, J., Wan, J., Passarino, G., Kennedy, B.K., Wei, M., Cohen, P., Crimmins, E.M., Longo, E.M. (2014). Low protein intake is associated with a major reduction in IGF-1, cancer, and overall mortality in the 65 and younger but not older population. *Cell metabolism*, 19(3): 407-417.
- Lo Fiego, D., Macchioni, P., Santoro, P., Pastorelli, G., Corino, C. (2005). Effect of dietary conjugated linoleic acid (CLA) supplementation on CLA isomers content and fatty acid composition of dry-cured Parma ham. *Meat Science*, 70(2): 285-291.
- Locker, R.H., Hagyard, C.J. (1963). A cold shortening effect in beef muscles. *Journal Science Food Agriculture*, 14: 787-790.
- López-Bote, C., Córdoba, J., Antequera, T. (1993). Tecnología de la elaboración del jamón curado. *Publicación de la Sociedad Española de Microbiología*, 9 (1): 20-25.
- López-Bote, C.J., Toldrá, F., Daza, A., Ferrer, J.M., Menoyo, D., Silió, L., Rodríguez, M.C. (2008). Effect of exercise on skeletal muscle proteolytic enzyme activity and meat quality characteristics in Iberian pigs. *Meat Science*, 79(1): 71-76.
- López-Mendoza, M.C. (2011). Estudio sensorial de Jamón DOP de Teruel con secado a ventana abierta y con secado en cámaras frigoríficas. *Cárnica 2000*, 38(365): 67.
- López Ortega, M., de la Hoz, L., Cambero, M.I, Gallardo, E., Reglero, G., Ordóñez, J.A. (1992). Volatile compounds of dry hams from Iberian pigs. *Meat Science*, 31: 267-277.
- López Ortega, M. (2019). Los beneficios y los problemas de la sal en el Jamón. Disponible en: <https://www.jamonlovers.es/beneficios-problemas-sal-en-el-jamon/>.
- Lorente, M., Villegas, B., Sánchez, M.J. (2011). Efecto de la reducción de la concentración de nitratos y nitritos en la calidad sensorial de productos cárnicos crudo-curados. *Eurocarne*, 194: 74-79.
- Lorenzo, J.M., García Fontán, M.C., Franco, I., Carballo, J. (2008). Proteolytic and lipolytic modifications during the manufacture of dry-cured lacón, a Spanish traditional meat product: Effect of some additives. *Food Chemistry*, 110(1): 137-149.
- Lorenzo, J.M., Purriños, L., Temperan, S., Bermúdez, R., Tallón, S., Franco, D. (2011). Physicochemical and nutritional composition of dry-cured duck breast. *Poultry Science*, 90(4): 931-940.

- Lorenzo, J.M., Franco, D. (2012). Fat effect on physico-chemical, microbial and textural changes through the manufactured of dry-cured foal sausage lipolysis, proteolysis and sensory properties. *Meat Science*, 92(4): 704-714.
- Lorenzo, J.M., Bermúdez, R., Franco, D. (2013). Lipolysis, proteolysis and physico-chemical modifications during ripening of dry-cured duck breast. *European Food Research and Technology*, 236(3): 405-417.
- Lorenzo J.M., Fernández M., Iglesias A., Carril J.A., Rodríguez I.M., Franco D. (2014). Efecto de la edad de sacrificio sobre las características de la carne del cruce de cerdo Celta con Duroc. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 4: 141-143.
- Lorenzo, J.M., Domínguez, R., Franco, D., Purriños, L., Moure, M.P., Piedra, R.B. (2018). Effect of slaughter age on the fatty acid profile of Celta pig breed. *Archivos de zootecnia*, (1): 227-230.
- Lorés, A., Pérez, T., Roncalés, P. (2012). Desarrollo del color y el flavor en jamones curados con y sin nitrificantes. Implicaciones en la seguridad alimentaria. *Eurocarne*, 206: 44-49.
- Lorido, L., Pizarro, E., Estévez, M., Ventanas, S. (2018). Emotional responses to the consumption of dry-cured hams by Spanish consumers: A temporal approach. *Meat Science* 149: 126-133.
- Luna, G., Aparicio, R., García-González, D.L. (2006). A tentative characterization of white dry-cured hams from Teruel (Spain) by SPME-GC. *Food Chemistry*, 97(4): 621-630.
- Lundberg, W.O., Whatts, B.M. (1962). Mechanisms. En: *Symposium of Foods: Lipids and their oxidation*. Eds. H.W. Schultz, E.A. Day, R.O. Sinnhuber. Avi Publ.Co., Westport, Connecticut.
- Mabry, J.W., Baas, T.J. (1998). The impact of genetics on pork quality. National Pork Board, American Meat Science Association, 4341: 1-12.
- MAPA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2014). Buenas prácticas sobre alimentación. Carne y productos cárnicos. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-buenas-practicas/buenas-practicas-sobre-alimentacion/carnes.aspx>
- MAPA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2020a). Razas ganaderas (ARCA). Catálogo oficial de razas. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/razas-ganaderas/razas/catalogo/default.aspx>

- MAPA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2020b). Informe del consumo alimentario en España 2019. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-tendencias/panel-de-consumo-alimentario/ultimos-datos/default.aspx>
- Martín, L., Córdoba, J.J., Antequera, T., Timón, M.L., Ventanas, J. (1998a). Effects of salt and temperature on proteolysis during ripening of Iberian ham. *Meat Science*, 49(2): 145-153.
- Martín, L., Antequera, T., Ruiz, J., Cava, R., Tejeda, J.F., Córdoba, J. (1998b). Influence of the processing conditions of Iberian ham on proteolysis during ripening. *Food science and technology international*, 4: 17-22.
- Martín, L., Córdoba, J.J., Ventanas, J., Antequera, T. (1999). Changes in intramuscular lipids during ripening of Iberian dry-cured ham. *Meat Science*, 51: 129-134.
- Martín, L., Antequera, T., Ventanas, J., Benítez-Donoso, R., Córdoba, J. (2001). Free amino acids and other non-volatile compounds formed during processing of Iberian ham. *Meat Science*, 59(4): 363-368.
- Mathur, M.B., Robinson, T.N., Reichling, D.B., Gardner, C.D., Nadler, J., Bain, P.A., Peacock, J. (2020). Reducing meat consumption by appealing to animal welfare: protocol for a meta-analysis and theoretical review. *Systematic Reviews*, 9(1): 1-8.
- Martínez, C., Ros, G., Periago, M.J., López, G. (1999). Biodisponibilidad del hierro en los alimentos. *Archivos lationamericanos de nutrición*, 49 (2): 106-112.
- Martínez-Quintana, J.A., Alarcón-Rojo, A., Gutiérrez, J., Vidales, H. (2007). Incidencia de los genes halotano y rendimiento napole y su efecto en la calidad de la carne de cerdo. *Universidad y Ciencia*, 22 (2): 131-139.
- Matissek, R., Schnepel, F.M., Steiner, G. (1992). Análisis de los alimentos. Fundamentos, métodos y aplicaciones. Capítulo 3. Ed. Acribia. Madrid. 89-112 pp.
- McAfee, A.J., McSorley, E.M., Cuskelly, G.J., Moss, B.W., Wallace, J.M., Bonham, M.P., Fearon, A.M. (2010). Red meat consumption: An overview of the risks and benefits. *Meat science*, 84(1): 1-13.
- McKercher, P.D., Yedloutschnig, R.J., Callis, J.J., Murphy, R., Panina, G.F., Civardi, A., Scatozza, F. (1987). Survival of Viruses in "Prosciutto di Parma" (Parma Ham). *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 20(4): 267-272.

- Melgar, J., Cid, C., Astiasarán, I., Bello, J. (1991). Influencia de la alimentación del cerdo ibérico en las características de los compuestos relacionados con la grasa del jamón curado. *Grasas y Aceites*, 42 (1): 51-55.
- Milanski, M., Degasperi, G., Coope, A., Morari, J., Denis, R., Cintra, D.E., Tsukumo, D.M.L., Anhe, G., Amaral, M.E., Takahashi, H.K., Curi, R., Oliveira, H.C., Carvalheira, J.B.C., Bordin, S., Saad, M.J., Velloso, L.A. (2009). Saturated fatty acids produce an inflammatory response predominantly through the activation of TLR4 signaling in hypothalamus: implications for the pathogenesis of obesity. *Journal of Neuroscience*, 29(2): 359-370.
- Milligan, S.D., Ramsey, C.B., Miller, M.F., Kaster, C.S., Thompson, L.D. (1998). Resting of pigs and hot-fat trimming and accelerated chilling of carcasses to improve pork quality. *Journal of Animal Science*, 76(1): 74-86.
- Molette, C., Rémygnon, H., Babilé, R. (2003). Maintaining muscles at a high *post-mortem* temperature induces PSE-like meat in turkey. *Meat Science*, 63(4): 525-532.
- Monin, G., Mejenes-Quijano, A., Talmant, A., Séllier, P. (1987). Influence of breed and muscle metabolic type on muscle glycolytic potential and meat pH in pigs. *Meat Sci.*, 20: 149-158.
- Monin, G., Marinova, P., Talmant, A., Martin, J.F., Cornet, M., Lanore, D., Grasso, F. (1997). Chemical and structural changes in dry-cured hams (Bayonne hams) during processing and effects of the dehairing technique. *Meat Science*, 47 (1): 29-47.
- Mottram, D.S. (1998). Flavour formation in meat and meat products: a review. *Food Chemistry*, 62(4): 415-424.
- Mora, L., Toldrá, F. (2012). Proteomic identification of small (< 2000 Da) myoglobin peptides generated in dry-cured ham. *Food Technology and Biotechnology*, 50(3): 343-349.
- Mora, L., Gallego, M., Toldrá, F. (2019). Degradation of myosin heavy chain and its potential as a source of natural bioactive peptides in dry-cured ham. *Food Bioscience*, 30: 100416.
- Morales, R., Guerrero, L., Aguiar, A.P.S., Guàrdia, M.D., Gou, P. (2013). Factors affecting dry-cured ham consumer acceptability. *Meat Science*, 95(3): 652-657.
- Morrissey, P.A., Sheehy, P.J.A., Galvin, K., Kerry, J.P., Buckley, D.J. (1998). Lipid stability in meat and meat products. *Meat Science*, 49: S73-S86.
- Muriel, E., Ruiz, J., Petró, M.J., Andrés, A., Antequera, T. (2003). Influencia de la alimentación sobre parámetros físico-químicos y sensoriales del lomo curado de cerdo ibérico. *Eurocarne*, 121: 1-12.

- Muriel, E., Antequera, T., Petró, M.J., Andrés, A.I., Ruiz J. (2004). Volatile compounds in Iberian dry-cured loin. *Meat Science*, 68: 391-400.
- Murray, J.M., Delahunty, C.M., Baxter, I.A. (2001). Descriptive sensory analysis: past, present and future. *Food Research International*, 34: 461-471.
- Nielsen, S.S. (2003) *Análisis de los alimentos* Ed. Acribia. Zaragoza. 657 pp.
- Nielzen, V., Babol, J., Dutta, P.C., Lundeheim, N., Enfält, A-C., Lundström, K. (2001). Free range rearing of pigs with access to pasture grazing. Effect on fatty acid composition and lipid oxidation products. *Meat Science*, 58: 267-275.
- Niñoles, L., Clemente, G., Ventanas, S., Benedito, J. (2007). Quality assessment of Iberian pigs through backfat ultrasound characterization and fatty acid composition. *Meat Science*, 76(1): 102-111.
- Nuñez, F., López-Bote, C., Ventanas, J. (1991). Effect of the use of *Duroc* in cross breeding on carcass and fat characteristic in pigs. *Archivos de Zootecnia*, 149 (40): 371-378.
- Olivo, R., Scares, A.L., Ida, E.I., Shimokomaki, M. (2001). Dietary vitamin e inhibits poultry PSE and improves meat functional properties. *Journal of Food Biochemistry*, 25(4): 271-283.
- Olsson, V., Andersson, K., Hansson, I., Lundström, K. (2003). Differences in meat quality between organically and conventionally produced pigs. *Meat Science*, 64: 287-297.
- Orban, E., Navigato, T., Di Lena, G., Masci, M., Casini, I., Gambelli, L., Caproni, R. (2008). New trends in the seafood market. Sutchi catfish (*Pangasius hypophthalmus*) fillets from Vietnam: nutritional quality and safety aspects. *Food Chemistry*, 110: 383–389.
- Orden DRS/1825. (2017). Boletín Oficial de Aragón, de 24 de octubre, por la que se aprueba la normativa específica de la denominación de origen protegida “Jamón de Teruel”/“Paleta de Teruel”, 223: 32778-32795.
- Ortíz, A., García-Torres, S., Cabeza de Vaca, M., Tejerina, D. (2019). Influencia de la edad al sacrificio en la aptitud tecnológica del m. *Longissimus dorsi* de cerdos ibéricos en montanera. Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA) XVIII Jornadas sobre producción animal. Zaragoza: 543-545.
- Osmari, E.K., Cecato, U., Macedo, F.A.F., Souza, N.E. (2011). Nutritional quality indices of milk fat from goats on diets supplemented with different roughages. *Small Ruminant Research*, 98(1/3): 128-132.

- Parolari, G., Benedini, R., Toscani, T. (2009). Color formation in nitrite-free dried hams as related to Zn-protoporphyrin IX and Zn-chelatase activity. *Journal of Food Science*, 74(6): C413-C418.
- Parolari, G., Aguzzoni, A., Toscani, T. (2016). Effects of processing temperature on color properties of dry-cured hams made without nitrite. *Foods*, 5(2): 33-47.
- Parthasarathy, D.K., Bryan, N.S. (2012). Sodium nitrite: the “cure” for nitric oxide insufficiency. *Meat Science*, 92: 274-279.
- Pastorelli, G., Magni, S., Rossi, R., Pagliarini, E., Baldini, P., Dirinck, P., Corino, C. (2003). Influence of dietary fat, on fatty acid composition and sensory properties of dry-cured Parma ham. *Meat Science*, 65(1): 571-580.
- Pegg, R.B., Shahidi, F. (2000). *Nitrite Curing of Meat: The N-Nitrosamine Problem and Nitrite Alternatives*. Food & Nutrition Press, Inc. Trumbull, Connecticut, USA: 267 pp.
- Peinado, B., Almela, L., Duchi, N., Poto, A. (2009). Parámetros de calidad en la canal y en la carne de cerdo Chato Murciano. *Eurocarne*, 173: 64-80.
- Pérez-Álvarez, J.A., Fernández-López, J., Sayas-Barberá, M.E., Cartagena-Graciá, R. (1998). Caracterización de los parámetros de color de diferentes materias primas usadas en la industria cárnica. *Eurocarne*, 63: 115-122.
- Pérez-Juan, M. (2006). Interacción de los compuestos aromáticos del jamón curado con la matriz proteica. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Valencia. 207 pp.
- Pérez-Juan, M., Flores, M., Toldrá, F. (2006). Generation of volatile flavour compounds as affected by the chemical composition of different dry-cured ham sections. *European Food Research and Technology*, 222(5-6): 658-666.
- Pérez-Palacios, T., Ruiz, J., Martín, D., Muriel, E., Antequera, T. (2008). Comparison of different methods for total lipid quantification in meat and meat products. *Food chemistry*, 110(4): 1025-1029.
- Pérez-Palacios, T., Ruiz J., Barat, J., Antequera, T. (2010). Influencia de la congelación de perniles ibéricos sobre parámetros físicos, químicos y sensoriales del jamón curado (II). *Eurocarne*, 186: 92-100.
- Petrova, I., Aasen, I.M., Rustad, T., Eikevik, T.M. (2015a). Manufacture of dry-cured ham: a review. Part 1. Biochemical changes during the technological process. *European Food Research and Technology*, 241(5): 587-599.

- Petrova, I., Bantle, M., Eikevik, T. M. (2015b). Manufacture of dry-cured ham: A review. Part 2. Drying kinetics, modeling and equipment. *European Food Research and Technology*, 241(4): 447-458.
- PRAN. Plan Nacional Resistencia a antibióticos (2020). Programas de reducción en sanidad animal. Programa REDUCE porcino. Disponible en: <http://www.resistenciaantibioticos.es/es/programa-reduce-porcino>
- Price J.F., Schweigert, B.S. (1987). *The Science of Meat and Meat Products*. 3rd ed. Food and Nutrition Press Inc. Westport, Connecticut, USA: 639 pp.
- Purriños, L., Franco, D., Carballo, J., Lorenzo, J.M. (2012). Influence of the salting time on volatile compounds during the manufacture of dry-cured pork shoulder "Iacón." *Meat Science*, 92(4): 627-634.
- Quintanilla, G., Redondo, B.I. (2013). Contenido en grasa intramuscular del lomo y la paleta de cerdos ibéricos según su sistema de alimentación y manejo. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 7(1): 30-41.
- Raigón, M.D. (2007). *Los alimentos ecológicos: Calidad y salud*. Ed. SEAE/Junta de Andalucía. 192 pp.
- Raigón, M.D. (2010). *La Industria de Transformación de Alimentos Ecológicos de Origen Ganadero*. Ed. SEAE/Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 60 pp.
- Raigón, M.D. (2020). *Manual de la Nutrición Ecológica. De la Molécula al Plato*. Ed. Sociedad Española de Agricultura Ecológica/Agroecología. 740 pp.
- Ramírez, M.R., Cava, R. (2007). Effect of Iberian×Duroc genotype on dry-cured loin quality. *Meat Science*, 76(2): 333-341.
- Real Decreto 1262/1989. (1989), por el que se aprueba el Plan Nacional de Investigación de Residuos en los Animales y en las Carnes Frescas. *Boletín Oficial del Estado* de 26-10-1989. BOE 237/1989: 33767-33770.
- Real Decreto 1749/1998. (1998), por el que se establecen las medidas de control aplicables a determinadas sustancias y sus residuos en los animales vivos y sus productos. *Boletín Oficial del Estado* de 07-08-1998. BOE 188/1998: 26910-26927.
- Real Decreto 142/2002. (2002), por el que se aprueba la lista positiva de aditivos distintos de colorantes y edulcorantes para su uso en la elaboración de productos alimenticios, así como sus condiciones de utilización. *Boletín Oficial del Estado* de 20-02-2002. BOE-A-2002-3366: 51 pp.

- Real Decreto 4/2014. (2014), por el que se aprueba la norma de calidad para la carne, el jamón, la paleta y la caña de lomo ibérico. Boletín Oficial del Estado, de 11-01-2014. BOE-A-2014-318: 1569-1585.
- Real Decreto 474/2014. (2014), por el que se aprueba la norma de calidad de derivados cárnicos. Boletín Oficial del Estado, de 18-06-2014. BOE-A-2014-6435: 46058-46078.
- Real Decreto 37/2014. (2014), por el que se regulan aspectos relativos a la protección de los animales en el momento de la matanza. Boletín Oficial del Estado de 01-02-2014. BOE-A-2014-1054: 6 pp.
- Real Decreto 542/2016. (2016), sobre normas de sanidad y protección animal durante el transporte. Boletín Oficial del Estado de 25-11-2016. BOE-A-2016-11708: 14 pp.
- Real Decreto 45/2019. (2019), por el que se establecen las normas zootécnicas aplicables a los animales reproductores de raza pura, porcinos reproductores híbridos y su material reproductivo. Boletín Oficial del Estado de 1-3-2019. BOE-A-2019-2859: 19716 a 19748.
- Reglamento CE nº 853/2004 (2004), por el que se establecen normas específicas de higiene de los alimentos de origen animal. Diario Oficial de la Unión Europea L 139/55, de 30 de abril. 151 pp.
- Reglamento CE nº 1/2005 del Consejo (2005), relativo a la protección de los animales durante el transporte y las operaciones conexas. Diario Oficial de la Unión Europea L 3/1, de 22 de diciembre. 44 pp.
- Reglamento CE nº 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo (2008), sobre aditivos alimentarios. Diario Oficial de la Unión Europea L 354/16, de 31 de diciembre. 18 pp.
- Reglamento CE nº 1099/2009 del Consejo (2009) relativo a la protección de los animales en el momento de la matanza. Diario Oficial de la Unión Europea L 303/1, de 24 de septiembre. 30 pp.
- Reglamento CE nº 470/2009 del Consejo y del Parlamento (2009) por el que se establecen procedimientos comunitarios para la fijación de los límites de residuos de las sustancias farmacológicamente activas en los alimentos de origen animal. Diario Oficial de la Unión Europea L 152/11, de 15 de junio. 12 pp.
- Reglamento UE nº 37/2010 de la Comisión (2010) relativo a las sustancias farmacológicamente activas y su clasificación por lo que se refiere a los límites máximos de residuos en los productos alimenticios de origen animal. Diario Oficial de la Unión Europea L 15/1, de 20 de enero de 2010. 72 pp.

- Reglamento UE nº 1129/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea (2011) por el que se modifica el anexo II del Reglamento (CE) nº 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo para establecer una lista de aditivos alimentarios de la Unión. Diario Oficial de la Unión Europea, L 295/1, de 12 de noviembre. 177 pp.
- Reglamento UE nº 1151/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea (2012) sobre los regímenes de calidad de los productos agrícolas y alimenticios. Diario Oficial de la Unión Europea L 343/1, de 14 de diciembre. 29 pp.
- Reglamento UE nº 647/2015 del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea. (2015), por el que se modifica y corrigen los anexos II y III del Reglamento (CE) nº 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta a la utilización de determinados aditivos alimentarios. Diario Oficial de la Unión Europea L 107/1, de 25 de abril. 14 pp.
- Reglamento UE nº 848/2018 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) nº 834/2007 del Consejo. Diario Oficial de la Unión Europea L 150/1, de 14 de junio. 92 pp.
- Reig, M., Aristoy, M.C., Toldrá, F. (2013). Variability in the contents of pork meat nutrients and how it may affect food composition databases. *Food Chemistry*, 140(3): 478-482.
- Reina, R., López-Buesa, P., Sánchez, J., Tovar, J., García, C. (2012). Caracterización físico-química y sensorial de productos cárnicos asociados a la DOP Jamón de Teruel. *Eurocarne*, 205: 90-98.
- Reis Lima, M.J., Fontes, L., Bahri, H., Veloso, A.C., Teixeira-Lemos, E., Peres, A.M. (2019). Fatty acids profile of Serra da Estrela PDO cheeses and respective atherogenic and thrombogenic indices. *Nutrition & Food Science*. 0034-6659: 16 pp.
- Resano, H., Sanjuán, A.I., Albisu, L.M. (2009). Evidence on the value of EU quality certification schemes. The case of dry-cured ham in Spain. Paper presented at the 113th EAAE seminar, Chania, Crete, Greece. <http://purl.umn.edu/58117>
- Resano, H., Sanjuán, A.I., Cilla, I., Roncalés, P., Albisu, L.M. (2010). Sensory attributes that drive consumer acceptability of dry-cured ham and convergence with trained sensory data. *Meat Science*, 84(3): 344-351.
- Resano, H., Perez-Cueto, F.J., Sanjuán, A.I., de Barcellos, M.D., Grunert, K.G., Verbeke, W. (2011). Consumer satisfaction with dry-cured ham in five European countries. *Meat science*, 87(4): 336-343.

- Resano, H., Sanjuán, A.I., Albisu, L.M. (2012). Consumers' response to the EU Quality policy allowing for heterogeneous preferences. *Food Policy*, 37(4): 355-365.
- Revilla, I., Vivar-Quintana, A.M., Palacios, C. (2009). Changes in ewe's milk composition in organic *versus* conventional dairy farms. *Journal of Food Sciences*, 27: 263-266.
- Rico, E., Toldrá, F., Flores, J. (1990). Activity of cathepsin D as affected by chemical and physical dry-curing parameters. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 191(1): 20-23.
- Rico, E., Toldrá, F., Flores, J. (1991). Assay of cathepsin D activity in fresh pork muscle and dry-cured ham. *Meat Science*, 29(4): 287-293.
- Robson, R.M. (1995). Myofibrillar and cytoskeletal structures and proteins in mature skeletal muscle cells. En: Expressions of tissue proteinases and regulation of protein degradation as related to meat quality. Utrecht: ECCEAMST: 267-288.
- Rosell, C.M., Toldrá, F. (1996). Effect of curing agents on m-calpain activity throughout the curing process. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 203: 320-325.
- Ruiz, J.; López-Bote, C. (2005). Alimentación y calidad sensorial en cerdos destinados a la obtención de productos cárnicos de calidad diferenciada. XXI Curso de especialización FEDNA. 7 y 8 de noviembre. Madrid: 53-80.
- Ruiz, J., Ventanas, J., Cava, R., Andrés, A., García, C. (1999). Volatile compounds of dry-cured Iberian ham as affected by the length of the curing process. *Meat Science*, 52(1): 19-27.
- Ruiz, J., Muriel, E., Ventanas, J. (2002). The flavour of Iberian ham. En: Research advances in the quality of meat products. Ed. F. Toldrá, Research Sgnpost, Kerala, India. 289-309.
- Ruiz, J., Martin, D., Ventanas, S. (2004). La calidad de la carne en porcino II. *Revista porci*, 14-33.
- Ruiz Carrascal, J. (2014). Dry-cured ham: processing technology, quality and safety. Conference: Continental Meats Seminar, At CAMPDEN, UK. Disponible en: <file:///C:/Users/Lola/AppData/Local/Temp/JRCDRY-CURED-CAMPDEN.pdf>
- Ruiz Carrascal, J., Cava, R., Andrés, A.I., García, C. (2000). Texture and appearance of dry cured ham as affected by fat content and fatty acid composition. *Food Research International*, 33: 91-95.

- Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J., Serra, X., Gou, P. (2006). Effect of pH (₂₄), NaCl content and proteolysis index on the relationship between water content and texture parameters in *biceps femoris* and *semimembranosus* muscles in dry-cured ham. *Meat Science*, 72(2): 185-194.
- Russo, V., Nanni Costa, L., Lo Fiego, D.P., De Grossi, A. (1993). Early estimation of seasoning loss in Parma ham production. *International Congress of Meat Science and Technology*, 37: 926-926.
- Sabio, E., Vidal-Aragón, M.C., Bernalte, M.J., Gata J.L. (1998). Volatile compounds presents in six types of dry-cured ham from a south European countries. *Food Chemistry*, 61 (4): 493-503.
- Safa, H., Portanguen, S., Mirade, P.S. (2017). Reducing the levels of sodium, saturated animal fat, and nitrite in dry-cured pork meat products: A major challenge. *Food and Nutrition Sciences*, 8: 419-443.
- Salazar, E. (2013). Tecnología y caracterización de productos cárnicos curados obtenidos a partir de cerdo Chato Murciano. Tesis. Universidad Católica San Antonio. 264 pp.
- Sánchez, F. (2003). Modificaciones tecnológicas para mejorar la seguridad y calidad del jamón curado. Tesis doctoral. Universitat de Girona. 257 pp.
- Sánchez, M.J. (2012). Estrategias para la elaboración de jamón cocido ecológico: optimización del proceso tecnológico de elaboración y de conservación. Tesis Universidad de Salamanca, 271 pp.
- Santos, C., Almeida, J.M., Matias, E.C., Fraqueza, M.J., Roseiro, C., Sardina, L. (1997). Influence of lairage environmental conditions and resting time on meat quality in pigs. *Meat Science*, 45(2): 253-262.
- Sárraga, C., Gil, M., García-Regueiro, J.A. (1993). Comparison of calpain and cathepsin (B, L and D) activities during dry-cured ham processing from heavy and light large white pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 62(1): 71-75.
- Schaefer, A.L., Dubeski, P.L., Aalhus, J.L., Tong, A.K.W. (2001). Role of nutrition in reducing *ante mortem* stress and meat quality aberrations. *Journal of Animal Science*, 79: E91-E101.
- Senso, L., Suárez, M.D., Ruiz-Cara, T., García-Gallego, M. (2007). On the possible effects of harvesting season and chilled storage on the fatty acid profile of the fillet of farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Food Chemistry*, 101(1): 298-307.

- Sentandreu, M.A., Stoeva, S., Aristoy, M.C., Laib, K., Voelter, W., Toldra, E. (2003). Identification of Small Peptides Generated in Spanish Dry-cured Ham. *Journal of Food Science*, 68(1): 64–69.
- Serra, X., Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J., Gou, P. (2005). Texture parameters of dry-cured ham m. biceps femoris samples dried at different levels as a function of water activity and water content. *Meat Science*, 69(2): 249-254.
- Serrano, M.P., Valencia, D.G. (2005). Norma de calidad para los productos de cerdo Ibérico: aspectos prácticos. *Ganadería*, (36): 34-38.
- Shahidi, F., Pegg, R.B. (1995). Nitrite alternatives for processed meats. *Developments in Food Science*, 37: 1223–1241.
- Shahidi, F., Rubin, L.J., D'Souza, L.A., Teranishi, R., Buttery, R.G. (1986). Meat flavor volatiles: A review of the composition, techniques of analysis, and sensory evaluation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 24(2): 141-243.
- Silva, D.A., Ribeiro Rocha, V., Mendes Ruas, J.R., Santana, P.F., Alcântara Borges, L., Albuquerque Caldeira, L., Tavares dos Reis, S., Carvalho de Menezes, J., Duarte Lanna, D. P. (2019). Chemical and fatty acid composition of milk from crossbred cows subjected to feed restriction. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 54: e00051.
- Simopoulos, A.P. (2002). The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & pharmacotherapy*, 56(8): 365-379.
- Simopoulos, A.P. (2004). Omega-6/omega-3 essential fatty acid ratio in chronic diseases. *Food Reviews International*, 20: 77-90.
- Skiba, G. (2010). Effects of energy or protein restriction followed by realimentation on the composition of gain and meat quality characteristics of *Musculus longissimus dorsi* in pigs. *Archives of Animal Nutrition*, 64: 36-46.
- Škrlep, M., Čandek-Potokar, M., Mandelc, S., Javornik, B., Gou, P., Chambon, C., Santé-Lhoutellier, V. (2011). Proteomic profile of dry-cured ham relative to PRKAG3 or CAST genotype, level of salt and pastiness. *Meat Science*, 88(4): 657-667.
- Tang, R., Yu, B., Zhang, K., Guo, X., Tian, G., Huang, Z., Chen, X., Chen, D. (2010). Effects of nutritional level on pork quality and gene expression of μ -calpain and calpastatin in muscle of finishing pigs. *Meat Science*, 85: 768-771.

- Théron, L., Tournayre, P., Kondjoyan, N., Abouelkaram, S., Santé-Lhoutellier, V., Berdagué, J.L. (2010). Analysis of the volatile profile and identification of odour-active compounds in Bayonne ham. *Meat Science*, 85(3): 453–460.
- Théron, L., Sayd, T., Pinguet, J., Chambon, C., Robert, N., Santé-Lhoutellier, V. (2011). Proteomic analysis of *semimembranosus* and *biceps femoris* muscles from Bayonne dry-cured ham. *Meat Science*, 88(1): 82-90.
- Toldrá, F. (1998). Desarrollo de las características de textura y flavor: contribución enzimática. El jamón curado: tecnología y análisis de consumo: Simposio especial, 44th ICOMST. Barcelona, Spain.
- Toldrá F. (2002). Fermentation and starter cultures. In: Dry-cured meat products. F. Toldrá, ed. Trumbull: Food & Nutrition Press Inc.: 89-112.
- Toldrá, F. (2006). The role of muscle enzymes in dry-cured meat products with different drying conditions. *Trends in Food Science & Technology*, 17(4): 164-168.
- Toldrá, F. (2017). *Lawrie's meat science* (8th edition). Cambridge, UK: Woodhead Publishing. 730 pp.
- Toldrá, F., Aristoy, M.C. (2010). Dry-cured ham. In: Toldrá, F. (Ed.), *Handbook of Meat Processing*. Wiley-Blackwell, Oxford, UK. 351e362.
- Toldrá, F., Etherington, D.J. (1988). Examination of cathepsins B, D, H and L activities in dry-cured hams. *Meat Science*, 23(1): 1-7.
- Toldrá, F., Flores, M. (1998). The role of muscle proteases and lipases in flavor development during the processing of dry-cured ham. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38(4): 331-352.
- Toldrá, F., Reig, M. (2011) Innovations for healthier processed meats. *Trends in Food Science & Technology*, 22: 517-522.
- Toldrá, F., Rico, E., Flores, J. (1992). Activities of pork muscle proteases in model cured meat systems. *Biochimie*, 74(3): 291-296.
- Toldrá, F., Rico, E., Flores, J. (1993). Cathepsin B, D, H and L activities in the processing of dry-cured ham. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 62(2): 157–161.
- Toldrá, F., Flores, M., Aristoy, M.C., Virgili, R., Parolari, G. (1996). Pattern of Muscle Proteolytic and Lipolytic Enzymes from Light and Heavy Pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 71(1): 124-128.

- Toldrá, F., Flores, M., Sanz, Y. (1997). Dry-cured ham flavour: enzymatic generation and process influence. *Food Chemistry*, 59(4): 523–530.
- Toldrá, F., Aristoy, M.C., Flores, M. (2000). Contribution of muscle aminopeptidases to flavor development in dry-cured ham. *Food Research International*, 33(3-4): 181-185.
- Toldrá, F., Aristoy, M.C., Flores, M. (2009). Relevance of nitrate and nitrite in dry-cured ham and their effects on aroma development. *Grasas y Aceites*, 60(3): 291-296.
- Ulbricht, T.L.V., Southgate, D.A.T. (1991). Coronary heart disease: seven dietary factors. *Lancet*, 338, 985-992.
- Valli, C., Rabassa, M., Johnston, B.C., Kuijpers, R., Prokop-Dorner, A., Zajac, J., Storman, D., Storman, M., Bala, M.M., Solà, I., Zeraatkar, D., Ah Han, M.; Vernooij, R.W.M., Guyatt, G.H., Alonso-Coello, P. (2019). Health-related values and preferences regarding meat consumption: a mixed-methods systematic review. *Annals of Internal Medicine*, 171 (10): 742-757.
- Varnam, A., Sutherland, J. (1995). *Carne y Productos cárnicos. Tecnología, Química y Microbiología*. Editorial Acribia, Zaragoza. 438 pp.
- Velarde, A. (2007). El bienestar animal i la qualitat del producte final. Dossier tècnic nº 18. *DARP. Generalitat de Catalunya*. 28 pp.
- Ventanas, S. (2006). Influencia de la raza y de la alimentación sobre el contenido y características de la grasa intramuscular del lomo de cerdo ibérico: efecto sobre parámetros determinantes de calidad. Tesis doctoral. Universidad de Extremadura. 351 pp.
- Ventanas, J., Córdoba, J.J., Antequera, T., García, C., López-Bote, C., Asensio, M.A. (1992). Hydrolysis and Maillard Reactions During Ripening of Iberian Ham. *Journal of Food Science*, 57(4): 813-815.
- Ventanas, J., Ruiz, J., Antequera, T., Martín, L. García, C., Tejeda, J.F., Cava, R. (1997). Características de la materia prima y del producto que determinan la calidad del jamón Ibérico: composición de la grasa. *Eurocarne*, 62: 35-42.
- Ventanas, J., Ruíz, J., Cava, R. (1998). Productos de calidad del cerdo ibérico. Proc. 44th. *International Congress of Meat Science and Technology. Symposium: El Jamón Curado*: 128-144.
- Ventanas, J., Andrés, A., Cava, R., Tejeda, J., Ruiz, J. (1999). Composición y características de la grasa en el cerdo ibérico e influencia sobre la calidad del jamón. I Jornadas sobre el cerdo ibérico y sus productos. Salamanca. 188-193.

- Ventanas, S., Ventanas, J., Ruiz, J. (2004). Nitratos, nitritos y nitrosaminas en productos cárnicos (II). Estrategias de actuación y métodos de análisis de nitrosaminas. *Eurocarne*, 14(130): 37-49.
- Ventanas, S., Ventanas, J., Ruiz, J., Estévez, M., Pandalai, S.G. (2005). Iberian pigs for the development of high-quality cured products. *Recent research developments in agricultural and food chemistry*, 6: 27-53.
- Ventanas, S., Ruiz, J., García, C., Ventanas, J. (2007a). Preference and juiciness of Iberian dry-cured loin as affected by intramuscular fat content, crossbreeding and rearing system. *Meat Science*, 77(3): 324–330.
- Ventanas, S., Ruiz, J., Estévez, M., Ventanas, J. (2007b). Estudio del perfil de compuestos volátiles en lomo curado de cerdo ibérico: influencia de la alimentación y del procesado. *Meat Science*, 75: 585-594.
- Ventanas, S., Ventanas, J., Estévez, M., Ruíz, J. (2010). Analysis of volatile molecules in Iberian dry-cured loins as affected by genetic, feeding systems and ingredients. *European Food and Research Technology*, 231: 225-235.
- Vojdani, F. (1996) Solubility. In: *Methods of Testing Protein Functionality*. Hall, G.M. (Ed.). St. Edmundsbury Press, London: 11-60.
- Wakamatsu, J., Nishimura, T., Hattori, A. (2004). A Zn–porphyrin complex contributes to bright red color in Parma ham. *Meat Science*, 67(1): 95-100.
- Wakamatsu, J.I., Ito, T., Nishimura, T., Hattori, A. (2007). Direct demonstration of the presence of zinc in the acetone-extractable red pigment from Parma ham. *Meat Science*, 76(2): 385-387.
- Wakamatsu, J.I., Akter, M., Honma, F., Hayakawa, T., Kumura, H., Nishimura, T. (2019). Optimal pH of zinc protoporphyrin IX formation in porcine muscles: Effects of muscle fiber type and myoglobin content. *LWT-Food Science Technology*, 101: 599-606.
- Warnants, N., Van Oeckel, M.J., Boucqué, C.V. (1998.) Effect of incorporation of dietary polyunsaturated fatty acids in pork back fat on the quality of salami. *Meat Science*, 49: 435-445.
- Wasserman, A.E., Talley, F. (1972). The effect of sodium nitrite on the flavor of frankfurters. *Journal of Food Science*, 37(4): 536-538.

- Wilhelm, A.E., Maganhini, M.B., Hernández-Blazquez, F.J., Ida, E.I., Shimokomaki, M. (2010). Protease activity and the ultrastructure of broiler chicken PSE (pale, soft, exudative) meat. *Food Chemistry*, 119(3): 1201-1204.
- Young, O.A., West, J. (2001). Meat color. In Y.H. Hui, W.-K. Nip, R.W. Rogers, & O.A. Young (Eds.). *Meat science and applications*. New York: Marcel Dekker, Inc.: 39-69.
- Zukál, E., Incze, K. (2010). Drying. In: F. Toldrá & associated (eds). *Handbook of Fermented Meat and Poultry*. Ames, IA: Blackwell Publishing. 219-229.
- Zumalacárregui, J.M. (1997). Tecnología del Jamón Crudo-curado. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 1 (5): 134-138.