



Universitat de Girona

**MODIFICACIONES TECNOLÓGICAS PARA
MEJORAR LA SEGURIDAD Y CALIDAD DEL JAMÓN
CURADO**

Filiberto SÁNCHEZ MOLINERO

**ISBN: 84-689-2573-X
Dipòsit legal: GI-578-2005**

TESIS DOCTORAL

**MODIFICACIONES TECNOLÓGICAS PARA MEJORAR LA
SEGURIDAD Y CALIDAD DEL JAMÓN CURADO**

FILIBERTO SÁNCHEZ MOLINERO

2003

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido con su ayuda y dedicación a la realización de este trabajo

A Cinto Arnau, director de tesis y buen amigo, y quien tanto me ha ayudado, comprendido y animado, y vuelto a ayudar, comprender y animar y....

Al IRTA (Institut de Recerca y Tecnologia Agroalimentàries) y a Josep Maria Monfort, Director del Centre de Tecnologia de la Carn, por permitirme realizar mi trabajo en este centro.

A mi tutora, Carmen Carretero, por su paciencia y por las correcciones realizadas, las cuales fueron de gran ayuda.

Al personal del Departament de Tecnologia de Processos por su ayuda inestimable: Pere Gou en el diseño experimental, Luis Guerrero en el análisis sensorial, Bernardo Guerra y Joaquim Arbonés en la planta piloto y Joan Gelabert al cachondeo. ¡Vaya alineación!

A las chicas de micro por su ayuda y consejos y a Bernhard, Elmar y Julia por su gran ayuda.

Al personal de la Unidad de Química Alimentaria por la realización de análisis químicos.

Al personal del CTC que no he mencionado y que de una forma u otra me ha ayudado y me ha transportado: Carmen Sárraga, Maria Font, Josep Comaposada, Mari Angels Rius, Ciriaco Maraschiello, Mónica Pascual, Carles Boades, Montse Padrós, Yolanda Beltrán.....

A Quim Mascort y Xavier Casas, de PURAC, por darme un permiso laboral para escribir la tesis.

A la empresa Carburos Metálicos por proporcionar de forma gratuita las bombonas de gas N₂.

A los programadores de televisión por hacer que resulte casi imposible que me distraiga con ella.

A Rubén, Iñaki, Edu, Rubio, por contribuir con sus impuestos (como que no me lo han recordado) a la beca que disfruté. Tendréis que apadrinar a otro.

A mis padres y hermanos, testimonio de que con esfuerzo se pueden conseguir lo que racionalmente te propongas.

Aunque ya lo sabe (y no se lo digo las veces que debería, tonto de mí), quiero agradecer con todo mi corazón a Nani, por su cariño, apoyo, comprensión, ayuda y mucha, mucha paciencia también durante la realización de la tesis. Ey!, otro proyecto que realizamos juntos (y los que nos quedan!).

La realización de esta tesis doctoral ha sido posible gracias a la financiación concedida al IRTA por el INIA (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria) a través del proyecto SC95-047 y a la beca predoctoral que este organismo me proporcionó.

A TODOS: ¡Gracias!

A NANI

A MI FAMILIA

RESUMEN

La calidad sensorial del jamón viene determinada fundamentalmente por: la materia prima; la formación de sustancias sápidas y aromáticas derivadas de la oxidación lipídica y de la degradación de las proteínas; los cambios en la textura; la acción de la microbiota y la ausencia/presencia de defectos. Por otro lado, el crecimiento de mohos potencialmente toxicogénicos, la presencia de ácaros y la formación de productos derivados de la oxidación del colesterol podrían representar riesgos potenciales para la salud. Teniendo en cuenta todos estos factores, en el presente trabajo de tesis doctoral se realizaron 3 experimentos para evaluar la introducción de varias modificaciones tecnológicas en la elaboración habitual del jamón curado español de cerdo blanco con el fin de mejorar la seguridad y calidad del producto, así como ayudar a entender la contribución relativa de los diversos procesos implicados en la calidad sensorial del producto. Las modificaciones introducidas en cada experimento fueron: a) la inoculación de un cultivo iniciador mixto (formado por cocos Gram + Catalasa +, bacterias ácido-lácticas y levaduras) en la superficie del producto y el envasado del jamón en vacío durante la etapa de reposo; b) la aplicación de una atmósfera modificada con un contenido reducido de oxígeno (durante parte o la totalidad del procesado) mediante dos procesos distintos que diferían en las humedades relativas aplicadas; c) la realización de un estufaje corto (de 4 días de duración) a 35°C y la aplicación repetida de pequeñas cantidades de grasa dorsal líquida sobre la superficie del jamón. En cada prueba se seleccionaron parejas de jamones procedentes del mismo cerdo siguiendo un diseño experimental de bloques incompletos, el cual permitió evaluar el efecto del factor canal sobre cada parámetro estudiado. La aplicación del cultivo iniciador evitó el crecimiento superficial de hongos, debido a la competencia por parte de las levaduras inoculadas, pero modificó el flavor del producto, dando lugar a la aparición de sabores impropios del jamón tradicional (pienso, floral), al aumento de la incidencia de la coquera y a la reducción de la intensidad de notas características del mismo como el flavor añejo. Estos efectos fueron debidos a la acción directa del cultivo pero probablemente también a los cambios que provocó en la superficie del jamón, como la atenuación del “sudado” de la grasa. La permanencia de los jamones envasados al vacío durante la etapa de reposo trajo consigo una reducción del crecimiento de mohos en superficie por la acción competitiva de las levaduras; un mayor gradiente de humedad entre el interior y el exterior del jamón; una disminución de la pérdida de peso; un aumento del nitrógeno no proteico y cambios negativos en la textura, aspecto y flavor, como fueron el aumento de la intensidad del velo blanco y del flavor a pienso, el aumento de la incidencia de la coquera y la atenuación del flavor añejo. Estos efectos fueron consecuencia tanto del mayor contenido de humedad a que dio lugar dicha modificación tecnológica, como a una potenciación de los efectos negativos del uso del cultivo iniciador así como a los cambios que provocó en la superficie del jamón.

El uso de una atmósfera con un contenido reducido de oxígeno durante todo el proceso provocó un aumento del nitrógeno no proteico, una disminución de la concentración de óxidos de colesterol, un aumento de la intensidad del velo blanco y, en combinación con el uso de humedades relativas bajas, causó una disminución del crecimiento bacteriano y evitó el crecimiento de hongos, levaduras y ácaros, tanto en superficie como en el interior del jamón y por tanto el desarrollo de la coquera. Asimismo, también dio lugar a una drástica reducción de la intensidad del flavor del jamón como consecuencia de la disminución de la presencia de productos derivados de la oxidación lipídica, lo que muestra la gran importancia que ésta tiene en el desarrollo del aroma característico del jamón en comparación de otros factores como la acción microbiana. Cuando esta atmósfera modificada se aplicó únicamente durante la última parte del proceso se consiguió la eliminación de las formas móviles de los ácaros y la

disminución de la intensidad de la coquera y el producto resultante poseía un flavor algo más intenso que aquél sometido a una atmósfera modificada durante la totalidad del proceso.

El aumento de la temperatura de 25-27 °C a 35 °C durante 4 días no tuvo efectos sobre las características físico-químicas o sensoriales del jamón curado. La aplicación de la grasa líquida en la superficie del jamón evitó el secado excesivo en superficie, previno el desarrollo de la coquera y dio lugar a un aumento de la intensidad del flavor añejo y a una reducción de la incidencia de notas negativas como el tostado, hechos que indican que el “sudado” del jamón constituye un fenómeno determinante en su calidad sensorial. El modelo aplicado evidenció que la materia prima influye significativamente sobre la mayoría de los parámetros estudiados, llegando a tener una repercusión más amplia en la calidad sensorial del jamón que la que tuvieron las modificaciones tecnológicas aplicadas, y que por tanto es fundamental seleccionar adecuadamente la materia prima para obtener un producto regular. Por todo ello, resulta muy importante el estudio, mediante un diseño experimental adecuado, del efecto de la materia prima cuando se pretende introducir algún cambio en el proceso de fabricación del jamón.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL JAMON CURADO

1.1.1 DEFINICIÓN

El jamón es un producto cárnico perteneciente al grupo de las salazones cárnicas, las cuales se definen como "carne y productos de despiece no picados, sometidos a la acción adecuada de la sal común y demás ingredientes autorizados propios de la salazón, ya en forma sólida o salmuera, que garantice su conservación para el consumo". El Código Alimentario Español define al jamón curado como "producto cárnico elaborado mediante la salazón en seco con posterior desecación y maduración, de la extremidad posterior del cerdo, seccionada por la sínfisis isquiopubiana, que conserva todos sus huesos, músculos, tejido adiposo de infiltración, vasos y nervios, así como una porción variable de la piel y el tejido adiposo de revestimiento" (Presidencia del Gobierno, 1967).

La elaboración de jamones constituye un modo de conservar la carne de cerdo que está extendido ampliamente por los países de la cuenca mediterránea desde tiempos inmemoriales. Los aspectos históricos del jamón han sido tratados por González (1998), poniéndose en evidencia la larga tradición de producción y consumo y el aprecio popular de este producto.

1.1.2 COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA

El pernil lo componen los huesos coxal, fémur, rótula, tibia, peroné, tarso, metatarso y falanges y las masas musculares correspondientes a los músculos bíceps femoral, semitendinoso, semimembranoso, tensor de la fascia lata, glúteo superficial, glúteo medio, glúteo profundo, obturador interno, gemelos, aductor, gracilis, pectíneo, iliopsoas, cuádriceps femoral, sartorio, poplíteo, gastronemio y sóleo, y la grasa subcutánea de cobertura.

En el jamón de cerdo blanco la composición es variable en función de la raza, sexo, edad y estado de engrasamiento. Los valores medios que da Poma (1980) son los siguientes:

21 % grasa de cobertura	4 % grasa intermuscular
63 % músculo	8 % hueso
3 % piel	1 % arterias venas y ganglios

Introducción

Por lo que se refiere a la composición química del músculo, Lawrie (1991) da estos valores medios para un músculo típico de mamífero adulto:

Agua	75 %
Proteína	19 %
Lípidos	2,5 %
Compuestos con Nitrógeno no proteico	1,65 %
Minerales	0,65 %
Hidratos de carbono	1,2 %
Vitaminas	Cantidades minúsculas

1.2.- PROCESO DE FABRICACION DEL JAMON CURADO

En las últimas décadas, la producción del jamón ha pasado a ser mayoritariamente industrial, aunque su elaboración se basa en los procesos de elaboración tradicionales. Las variaciones introducidas en el proceso de elaboración tradicional se relacionan principalmente con la mecanización de los procesos y la utilización de secaderos con control de temperatura y humedad relativa, consiguiéndose de este modo una producción a lo largo del año y con escasa dependencia de la climatología, con lo cual la maduración de los mismos puede realizarse en cualquier zona geográfica.

El proceso de producción del jamón curado comprende básicamente las etapas de salado, reposo o postsalado, secado/maduración (que puede incluir una fase de bodega). La forma en que se llevan a cabo depende de varios factores que se relacionan con la materia prima y que definen y condicionan el periodo de duración de cada etapa, así como sus condiciones particulares de temperatura y humedad.

A pesar de la diversidad de tipos de jamones procedentes de distintas materias primas y modos de elaboración, la producción de jamones se basa en dos pilares fundamentales:

1.- Estabilización de la materia prima (pernil)

En esta etapa se persigue que un producto perecedero se transforme en un producto estable a temperatura ambiente, evitando el desarrollo de alteraciones microbianas que conducen a la putrefacción del mismo. Esto se consigue en una primera fase que denominaremos etapa fría y que se corresponde con las primeras etapas de la elaboración del jamón: salado y postsalado o reposo.

2.- Desarrollo de las características sensoriales

Por medio de transformaciones de los componentes del jamón, proteínas y lípidos, se alcanzan las características sensoriales que caracterizan a este producto. Se producen reacciones químicas y enzimáticas que conducen a la formación de compuestos sápidos y aromáticos, que le conferirán al producto las cualidades sensoriales características del jamón. Estas reacciones se desarrollan en la segunda fase de la elaboración que se corresponde con las etapas de secadero y bodega.

La tecnología para la producción de jamón curado es diferente según el país productor. Martín (1996), Cava (1997) y Toldrá y Flores (1998) realizan una revisión de los diferentes procesos de elaboración de los jamones españoles, italianos, franceses y americanos. Lo que sigue es una descripción la tecnología empleada en la fabricación de jamones españoles.

1.2.1 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

En la selección de la materia prima hay que tener en cuenta factores como:

- a) Raza, edad y alimentación: influyen sobre diversos factores, como la cantidad, composición y susceptibilidad a la oxidación de la grasa, aparición de sabores extraños (por una dieta inadecuada) (Virgili y col., 1998; Armero y col., 1999b; Ventanas y col., 2000).
- b) Presencia de carnes DFD o PSE: las primeras se deben rechazar por ser más susceptibles al deterioro microbiano y a presentar texturas anómalas y precipitados de fosfato (Arnau y col., 1998), mientras que para el procesado de las últimas se debe tener en cuenta sus mayores pérdidas por goteo y absorción de sal.
- c) Cantidad de grasa: determinará, junto al tamaño de la pieza, la duración del proceso de secado.
- d) Capacidad proteolítica: no debe ser excesivamente alta para evitar problemas de textura blanda (Parolari y col., 1994; Virgili y col., 1995a).

Hay que procurar la rápida refrigeración de la pieza tras el sacrificio del animal y su pronta entrada en la fábrica. Se deben eliminar aquellas piezas que presenten petequias y hematomas, ya que su presencia, que puede ser debida a un mal aturdimiento, representa un posible caldo de cultivo para los microorganismos y además afecta negativamente sobre el aspecto al corte. Los hematomas también pueden ser indicativos de la fractura de algún hueso del animal, lo que puede

Introducción

originar un problema de deterioro en zonas internas de origen microbiológico (también conocido como cala).

Normalmente las piezas se clasifican según su peso y espesor de grasa subcutánea y en algunos casos se seleccionan por pH, eliminando aquéllas con un pH mayor de 6,2.

1.2.2 PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Tras extraer el pernil de la canal, y después de haber sufrido el *rigor mortis*, la pieza es perfilada, pudiéndosele realizar el corte serrano en “V”, especialmente en los jamones más grasos. Posteriormente se efectúa el desangrado mediante presión manual o mediante el empleo de la maquinaria adecuada con la finalidad de extraer los restos de sangre que pudieran quedar en el interior de los vasos sanguíneos y que podrían favorecer el desarrollo posterior de microorganismos causantes de alteraciones, tras lo cual se procede a seguir las pautas establecidas en la elaboración del producto. Estas operaciones se realizan en cámaras a bajas temperaturas, próximas a la sala de salado (Hernández y Huerta, 1993).

1.2.3 SALADO

La finalidad de esta primera etapa es la incorporación de cloruro sódico o sal común, sales del curado (nitratos y nitritos) y coadyuvantes de las sales de curado (ascorbato, isoascorbato y azúcares) al pernil. Esta práctica contribuye a la inhibición de los microorganismos alterantes y patógenos. Además, el NaCl conferirá al producto su sabor salado y el nitrito su color rojo, al reaccionar con la mioglobina y formarse nitrosomioglobina, pigmento típico de la carne curada.

En España, el salado de los jamones se realiza actualmente utilizando fundamentalmente dos tecnologías:

a) Apilado de los jamones recubiertos de sal.

En este caso, tras el desangrado, los jamones se cuelgan durante 24-48 horas a una temperatura de unos 2 °C para conseguir una refrigeración uniforme del jamón (Arnau, 1991) y seguidamente se aplica, por frotación, una primera capa de sal fina seca junto con las sales de curado, favoreciendo la mezcla con los líquidos exudados por la carne. La incorporación de coadyuvantes del curado como azúcares y ascorbato se ha hecho común, aplicándose conjuntamente con las sales de curado. Tras esta primera aplicación los jamones, seleccionados en función del peso, se apilan en la cámara de salazonado, intercalando sal entre una pila de

jamones y otra y cubriendo los huecos con sal. En los sistemas tradicionales, la altura de las pilas oscila entre de 5 y 8 jamones como máximo. Posteriormente, los jamones son volteados consiguiéndose de este modo una distribución más homogénea de la sal. Actualmente, existe una tendencia al uso de contenedores apilables para la realización del salado. El tiempo de permanencia en salazón viene dado por el peso del jamón, estableciéndose un tiempo comprendido entre el día y día y medio por kilogramo de jamón fresco y 1 día/Kg – (2-3 días) en jamones congelados.

b) Aplicación de una cantidad fija de sal por Kg de jamón mediante el uso de bombos de salado o masajeadores.

En este método, se añade una cantidad fija de sal y aditivos, alargándose el proceso de salado hasta que cada jamón consiga la cantidad deseada de sal. En general la duración oscila entre 2 y 4 semanas (Arnau, 1993). La cantidad de sal a añadir es variable según si se deja o no evacuar el agua exudada por los jamones. En este caso, el salado suele efectuarse en dos fases y se utilizan masajeadores o bombos de salado. Con el salado en bombo se cuantifica la sal, se ahorra mano de obra y se estandariza más el proceso porque se uniformiza la cantidad de sal añadida, que oscila entre 35 y 90 g/Kg de jamón. La duración del masaje de salado es de 5-10 minutos (Arnau, 1991).

El factor principal que regula la velocidad de penetración de la sal es la formación de una salmuera saturada en la superficie de la carne (Poma, 1980), lo cual explica que la sal húmeda penetre más rápidamente que la seca.

Durante el salado se producen fenómenos de ósmosis y de difusión. Los primeros provocan la salida de agua del interior de la pieza, favoreciéndose así la difusión de la sal hacia el interior. En los jamones, la sal penetra casi exclusivamente por la parte magra y es necesario que se difunda alrededor y dentro de los huesos (Arnau, 1993).

Las condiciones termohigrométricas de las salas destinadas al salazonado deben conducir a la inhibición del desarrollo de microorganismos alterantes, así como a evitar una desecación externa del jamón que impediría la penetración de la sal hacia el interior de la pieza. Según lo expuesto, las temperaturas de salazonado se encuentran comprendidas entre los 1 y 3°C, combinado con una alta humedad relativa, superior al 75 % (Arnau, 2003).

Introducción

Las mermas que se producen en esta etapa del proceso son del 3 al 7 %, si se tiene en cuenta la sal absorbida se obtiene una cantidad total de agua perdida entre el 6 y el 10% (Arnau, 1993).

1.2.4 REPOSO (postsalado , asentamiento o estabilización)

Después del salado los jamones se lavan para eliminar el exceso de sal exterior, son cepillados y en algunos casos se aplican conservantes de tratamiento superficial para evitar la aparición del remelo (pátina superficial húmeda). La finalidad principal de la etapa de reposo es conseguir un reparto, por todo el jamón, de la sal absorbida en la etapa de salado, al mismo tiempo que se logra una ligera deshidratación.

La humedad relativa ambiental es variable en función del secadero, velocidad del aire, carga, etc.. Debe ser lo suficientemente baja para que se elimine la humedad superficial en un periodo corto de tiempo y evitar así la formación del remelo y lo suficientemente alta para evitar el acortezamiento. Normalmente está comprendida entre el 75-90 %. La temperatura de esta fase debe ser inferior a 5°C hasta que en todos los puntos del jamón se haya alcanzado una actividad de agua inferior a 0,96, consiguiéndose así un producto microbiológicamente estable (Leistner, 1985). A este respecto, Paarup y col. (1999) observaron que una reducción de 5 a 2 °C reducía significativamente la tolerancia a la sal de microorganismos alterantes.

La duración de esta etapa se sitúa entre uno y tres meses. Cuanto más larga es esta etapa, menos problemas de cala se presentan en el producto acabado. En el jamón de Parma y en el jamón de cerdo ibérico, el reposo es prolongado, pudiendo llegar a los tres meses, en el primer caso debido a la baja concentración de sal y al gran tamaño de los jamones, y en el segundo a la lentitud en la penetración de sal ocasionada por el gran contenido de grasa intramuscular e intermuscular

Al final de la etapa de reposo, el jamón suele tener una merma acumulada del 10 al 15 %.

1.2.5 SECADO-MADURACIÓN

La función de esta etapa es provocar la deshidratación y la intensificación de los fenómenos bioquímicos de la proteólisis y de la lipólisis. Las temperaturas aplicadas son considerablemente mayores que en las anteriores etapas. El inicio se realiza a temperaturas inferiores a 15° C, posteriormente se aumenta la temperatura hasta un máximo de 28-30°C, aunque

en algunos casos se alcanzan los 35 °C. A la etapa de máxima temperatura se la suele denominar estufaje. Después del estufaje, los jamones son comercializados directamente o reciben un proceso de afinado en bodega en aquellos casos en que el proceso de curación es muy largo. Este periodo final de maduración puede comprender un ligero descenso de la temperatura hasta los 15° C. En el caso del jamón de Parma, la temperatura media suele ser inferior a la del jamón español.

El tiempo y el incremento de temperatura se deben ajustar en función de la duración total: así en procesos de seis meses el incremento de temperatura suele ser más rápido que en los de 12 meses.

Los fenómenos proteolíticos y lipolíticos que se producen en esta etapa son muy importantes, ya que influirán de modo directo en la textura, el aroma y el sabor del jamón. Este fenómeno es más importante en el jamón ibérico, al tener mayor contenido de grasa intramuscular.

En esta etapa también se produce la fusión de la grasa del jamón, fenómeno conocido como “sudado” y que constituye una característica típica deseable del jamón español: la grasa fundida impregna las fibras musculares quedando retenidas en ellas buena parte de los compuestos responsables del aroma (Arnau, 1998).

En la etapa de secado los jamones suelen cubrirse de una capa de mohos de diferentes especies (Monte y col, 1986; Hernández y Huerta, 1993; Núñez y col., 1996b). La distribución del micelio del moho por la superficie del jamón no es homogénea, distribuyéndose en mayor medida en la superficie no cubierta por la grasa de cobertura.

1.3.- CALIDAD SENSORIAL DEL JAMÓN CURADO

1.3.1 ANÁLISIS SENSORIAL DEL JAMON

1.3.1.1.Introducción

El análisis sensorial es la disciplina científica empleada para medir, analizar e interpretar las reacciones humanas a las características de los alimentos y materiales, así como la manera en que éstos son percibidos por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído (Harper, 1983). En sentido literal, es aquel que se realiza con los sentidos. Según Flores y col., (1997d), la percepción sensorial de un consumidor frente al jamón curado es la siguiente: en primer lugar recibe unas

Introducción

sensaciones externas tanto por la vista (color, forma, tamaño, brillo, en resumen, aspecto general) como por el olfato (aroma). Una vez ingerido el jamón y mientras se mastica y saliva, se percibe el sabor y aroma retronasal. Asimismo, también se perciben un conjunto de sensaciones complementarias de tipo somatosensorial, como son el esfuerzo masticatorio según la terneza del jamón, la impresión (ardiente, refrescante,...) y la temperatura del jamón (caliente, frío...). El conjunto del sabor y aroma (tanto directo como retronasal) constituye el “flavor”, término anglosajón muy difundido.

Las pruebas sensoriales se han utilizado desde que existe el ser humano para evaluar la calidad de los alimentos, agua, aromas y cualquier otra cosa susceptible de ser utilizada o consumida. El análisis sensorial es de gran importancia, ya que nuestros sentidos son la manera más simple y natural de decidir nuestra aceptación o preferencia hacia un producto. En la industria, se pretende fabricar un producto valorado por sus características sensoriales típicas de aspecto, textura y olfato-gustativas. Por otro lado, el análisis sensorial del producto terminado es útil para averiguar si en la elaboración del jamón se ha utilizado una materia prima o un proceso tecnológico inadecuado o diferente al habitual. A este respecto, Guerrero y col. (1996) observaron que los descriptores veteados, salado y flavor curado mostraron más capacidad discriminante que los parámetros físico-químicos para distinguir jamones provenientes de tres líneas genéticas diferentes.

1.3.1.2 Propiedades sensoriales del jamón

Guerrero y col. (1998) hicieron una revisión de los atributos y técnicas utilizados en el análisis sensorial de varios tipos de jamones que fue ampliada más tarde por Soriano (2001). Cada tipo de jamón (serrano, ibérico, Parma, Bayonna, San Danielle, corso, noreuropeo, country-style norteamericano) tiene un perfil sensorial diferente que coincide con los gustos de la población del área geográfica correspondiente (Flores y Toldrá, 1993; Dirinck y col., 1997). En este trabajo de tesis doctoral se hará más hincapié en el perfil sensorial del jamón español (especialmente el jamón serrano), cuya diferencia principal con otros jamones como el de Parma y el noreuropeo es el flavor proveniente de la oxidación lipídica (Dirinck, 1997).

La gran diversidad de descriptores usados en los trabajos científicos para el análisis sensorial del jamón curado español, especialmente aquellos correspondientes al olor y flavor, representa una de las dificultades que existen para interpretar los resultados de los mismos. Uno de los factores que influyen negativamente en esta realidad es el hecho de que la legislación

alimentaria no recoge una clara definición de las propiedades sensoriales que deberían caracterizarlos (Guerrero y col., 1998). Tampoco define las técnicas de preparación y de evaluación de las muestras más adecuadas para su análisis, a pesar de la influencia de la región anatómica en los perfiles sensoriales (León Crespo y col. 1984). Únicamente se indican aspectos tan genéricos como que “el producto deberá tener el olor y sabor característico” (Guerrero y col. 1998).

Asímismo, también se ha intentado averiguar qué descriptores son los que más condicionan la aceptabilidad del producto. A este respecto, León Crespo y col., (1983) realizaron un perfil sensorial descriptivo de diferentes marcas comerciales de jamón serrano mediante un panel de 6 catadores que usaron los descriptores utilizados por Ockerman (1974) y comprobaron que la característica con mayor incidencia en la aceptabilidad general del jamón serrano fue el sabor, seguida del color y del olor. La jugosidad, el veteado y la sensación de salazonado no presentaron correlación significativa con la aceptabilidad. Según Guerrero y col. (1998), el flavor del jamón debería ser dulzón, no salado, con notas de frutos secos y añejo (rancidez incipiente agradable). Determinados sabores y/o olores a queso en poca intensidad también suelen ser aceptables. Por el contrario no deberían detectarse atributos como animal (cerdo), fecal, floral, frutal, hongos, coquera, (olor/flavor a lugar húmedo y cerrado), cocido, anís, metálico, macho entero, amargo intenso, ácido, agrio, avinagrado, compuestos sulfurados, rancio intenso, etc. Un buen jamón curado debería presentar, además, una dureza intermedia y ser desmenuzable. La fusión de grasa en la boca mejora notablemente la sensación global producida por el producto. Por el contrario la adhesividad, la pastosidad y la presencia abundante de tejido conectivo disminuyen de forma importante la aceptabilidad del producto.

La tabla 1.3.1 recoge los atributos sensoriales habituales en la valoración sensorial de jamón curado (Guerrero y col., 2000b).

Introducción

Tabla 1.3.1: Atributos sensoriales habituales en la valoración sensorial de jamón curado

Pieza entera
<p>Visual: valorado sobre todo el jamón antes de su deshuesado y troceado con luz artificial de características normalizadas.</p> <ul style="list-style-type: none">-Color: tono y luminosidad de los músculos superficiales de la pieza (<i>Gracilis, Adductor</i> y <i>Semimembranosus</i>).-Arrugado: arrugado superficial del jamón en su parte magra.-Conformación : grado de redondez del jamón.-Espesor de grasa subcutánea: espesor de la grasa situada entre la corteza y el músculo <i>Biceps femoris</i>.-Grietas: intensidad del agrietado en la articulación coxo-femoral.-Otros atributos: manchas y decoloraciones, precipitados de superficiales,...
Loncha de producto
<p>*Visual valorado con luz artificial normalizada sobre una sección del producto (Figura 1).</p> <ul style="list-style-type: none">-Color: tono y saturación de toda la sección o por músculos.-Homogeneidad de color: variaciones de color en la superficie de la muestra.-Halos: decoloraciones centrales como consecuencia de una nitrificación defectuosa.-Veteado o marmorización: cantidad de grasa intramuscular.-Brillo: reflexión de la luz que incide sobre el producto.-Precipitados: presencia de pintas blancas de tirosina.-Otros atributos: decoloraciones verdes o amarillas, encortezado superficial, espesor de grasa subcutánea, grasa intramuscular, conformación,... <p>*Olor/Flavor: valorado sobre una loncha de 2mm de espesor o para cada músculo de forma individual.</p> <ul style="list-style-type: none">-Salado: sabor básico similar al producido por soluciones acuosas de cloruro sódico.-Amargo: sabor básico similar al producido por soluciones acuosas de L-triptófano al 0,1%.-Dulce: sabor básico similar al producido por soluciones acuosas de diversos azúcares.-Frutos secos: notas a diversos frutos secos, especialmente a avellana.-Añejo: rancio incipiente que se asocia a los productos de larga maduración y que se considera como deseable.-Otros atributos: picante, queso, animal, fecal, floral, hongos, coquera (olor/flavor a lugar húmedo y cerrado), cocido, anís, cordero,... <p>*Textura oral: valorada durante la masticación sobre lonchas enteras de 2mm dobladas en 4 partes o sobre alguno de sus músculos.</p> <ul style="list-style-type: none">-Dureza: fuerza requerida para deformar un trozo de jamón entre los molares.-Desmenuzabilidad: grado en el que el producto se deshace en partículas pequeñas.-Adhesividad: adhesión de la muestra sin masticar al paladar después de presionarla con la lengua.-Pastosidad: sensación de pasta en la boca similar a la producida por mezclas de harina y agua.-Fibrosidad: sensación de fibras o hilos durante la masticación del producto.-Otros atributos: gomosidad, masticabilidad, residuo, untabilidad de la grasa,...

1.3.1.2.1 Aspecto

El aspecto es la primera información que recibe el consumidor sobre un alimento y en la mayoría de los casos la única que posee para elegir la compra del mismo. La propiedad sensorial más importante asociada con el sentido de la vista es el color, aunque existen otros atributos detectados por medio de este sentido (ver tabla 1.3.1)

1.3.1.2.2 Textura

La textura, según la Norma UNE 87-001-94 (1997) es el conjunto de propiedades mecánicas, geométricas y de composición de un producto perceptibles por los sentidos del tacto, la vista y el oído.

En la boca, la textura de un alimento se percibe mediante los receptores táctiles situados en la lengua, las encías, la garganta y el paladar. Además se perciben sensaciones de temperatura, sabor y dolor. La preparación de la muestra es importante ya que el espesor de la loncha, el método y dirección del corte y la temperatura influyen en la textura.

El análisis sensorial de la textura de la carne y de los productos cárnicos comprende varias etapas en las que se ponen de manifiesto descriptores recogidos en la tabla 1.3.2 (Soriano, 2001):

Tabla 1.3.2: Etapas para la evaluación de los descriptores de textura de la carne y de los productos cárnicos

ETAPA	SENSACIONES PRODUCIDAS
Compresión parcial	Elasticidad
Primer mordisco	Compresión, liberación de humedad, dureza, firmeza, cohesividad, cantidad y tipo de grasa, uniformidad, sequedad, primera impresión de ternura, desmenuzabilidad
Masticación	Dureza, producción de saliva, liberación y absorción de saliva, cantidad y tipo de grasa, nº de mordiscos necesarios hasta la deglución, fibrosidad, rango de rotura, tipo y cantidad de tejido conectivo, tamaño del bolo, uniformidad, astringencia
Deglución	Facilidad para la deglución, cantidad, tipo y uniformidad de partículas, fibras, carácter aceitoso, adherencia a los dientes

La tabla 1.3.1 muestra los atributos de textura habituales en el análisis sensorial del jamón curado español (Guerrero y col., 2000b).

Introducción

1.3.1.2.3 Gusto

El sentido del gusto reside principalmente en la lengua, donde se encuentran los receptores específicos (papilas gustativas) para los sabores fundamentales: dulce, salado, amargo, ácido y umami. Los componentes de la carne y productos cárnicos con mayor influencia en el gusto son el NaCl, los aminoácidos, los péptidos y los nucleótidos, seguidos por los iones inorgánicos, las aminas y algunos componentes sulfurados; por último los heterociclos sulfurados y nitrogenados.

El gusto ácido no es característico del jamón curado español (Arnau, 2000). Además de los ácidos orgánicos, algunas sustancias derivadas de la proteólisis podrían aportar este gusto (Careri y col., 1993). Por lo que se refiere al gusto salado del jamón, no depende sólo de la cantidad de sal, también influye la cantidad de grasa, compuestos derivados de la proteólisis (Careri y col., 1993), así como la formación de complejos entre los iones sodio y cloruro con las proteínas de la carne (Arnau, 2000). Los gustos amargo y metálico se asocian a péptidos y aminoácidos libres (Virgili y col., 1998; Arnau, 2000). El gusto dulce se suele detectar con mayor intensidad al aumentar el tiempo de maduración (Guardia y col., 1999) y al añadir dextrosa (Boadas y col., 2000).

1.3.1.2.4 Flavor

El flavor se puede definir como el conjunto de percepciones de estímulos olfatogustativos, táctiles y quinesésicos que permite identificar un alimento y establecer un criterio, a distintos niveles, de agrado o desagrado. Las sustancias responsables del flavor del jamón provienen principalmente de la oxidación de ácidos grasos insaturados, productos de degradación de aminoácidos, productos de la reacción de Maillard e interacciones entre ellos o con proteínas, péptidos y aminoácidos libres (Toldrá, 1998a, 1998b; Gandemer, 1998).

Arnau, (2000) destaca los descriptores añejo, muy relacionado con la oxidación lipídica, curado y fruto seco como los más importantes en el flavor del jamón. Flores y col., (1997d) también definen varios descriptores del flavor de jamón serrano, los cuales se agrupan en tres factores: flavor curado (definen el sabor característico de flavor curado del jamón), carne de cerdo y flavor desagradable. El primero está definido por los atributos ácido, astringente, umami, especia y amargo, el segundo se correlaciona con los atributos complejo de grasa, suero (asociado con carne cruda), cerdo (carne de cerdo cocinada) y ahumado y el tercero se define con los atributos olor sexual, salado, corral (relacionado con ácidos grasos libres) y heno/mohoso.

Para determinados descriptores existen en la literatura referencias que ayudan a definirlos y algunas veces permiten fijar la escala de puntuación de ciertos atributos del jamón curado. (ver tabla 1.3.3).

Tabla 1.3.3: Referencias utilizadas para definir y puntuar algunos descriptores del jamón curado.

Descriptor	Referencia	Puntuación ^a
Amargo	Solución de L-Triptófano al 0.1 % ¹	10
Metálico	Solución de FeSO ₄ •7 H ₂ O (0,016 g/l) ¹	-
Salado	Lomo curado con 2 ó 8 ó 14 % sal secados lentamente hasta una merma del 35 % ¹	2,5,8 resp.
Dulce	Solución de sacarosa al 1 % ²	1 ^b
Fibrosidad	Jamón cocido y jamón curado cocido ¹	6 y 12 resp. ^b
Dureza	Loncha de 2 mm de espesor de <i>Longissimus lumbrorum</i> (con 3 % NaCl) tras una merma del 60% a 4°C, 65-75% HR ³	10
Pastosidad y desmenuzabilidad	Idem pero además 1 g de papaina (PROFIX 100P, 15-20 %, Quest Int. España) por Kg de carne y una merma del 30 % ³	10
Adhesividad	Superficie del <i>Longissimus lumbrorum</i> (con 3 % NaCl) con papaina aplicada en superficie (5 g/kg de carne) y merma 30% a 4°C, 65-75 % ³	10
Fecal	Escatol ²	
Floral	Fenilacetaldehido ²	
Olor sexual	5- α -androst-16-en-3-ona ⁴	

^a En escala de 1 a 10, excepto en ^b (escala de 1 a 15) ¹ Guerrero y col., (1998); ² Flores y col., (1997d); ³ Guerrero y col., (1999) ⁴ Patterson (1968)

1.3.2 CAMBIOS PRINCIPALES EN EL JAMON QUE AFECTAN A LA CALIDAD SENSORIAL DEL JAMON CURADO

Las características sensoriales del jamón curado dependen principalmente de la materia prima utilizada y del proceso tecnológico aplicado. Durante el procesado del jamón ocurren una serie de cambios que afectan a su composición y estructura y que influyen decisivamente en las características sensoriales del producto terminado.

1.3.2.1 Evolución de los parámetros físico-químicos

El jamón curado es un producto no homogéneo que sufre un proceso de salado y deshidratación, el cual influencia las dinámicas de migración de agua, sal, nitrato y nitrito.

1.3.2.1.1. Humedad

El contenido acuoso del jamón disminuye en el salado debido al efecto osmótico producido por la sal que cubre el jamón, y durante el reposo y secado por deshidratación. En todas las etapas, la pérdida de agua es mayor en la superficie que en el interior. Gou (1998) hizo una revisión de los factores que influyen en el secado del jamón y los divide en aquellos relacionados con las propiedades del jamón y los relacionados con los parámetros del secadero. Entre los primeros, se encuentran el espesor, el coeficiente de difusión (que a su vez depende de otros factores como el contenido en agua, grasa, sal, etc.) y el tipo de pulido del jamón y entre los segundos encuentran la temperatura, humedad relativa y la velocidad del aire.

1.3.2.1.2. Sal

En los músculos exteriores (*Gracilis*, *Semimembranosus*), la concentración de cloruros en materia seca aumenta durante el salado y disminuye durante el secado. En el interior, la concentración inicial de cloruros es menor y aumenta constantemente llegando a superar a la de la superficie, al migrar desde ésta. Esta inversión de la concentración de sal puede ser explicada por la tendencia natural del cociente NaCl/agua a equilibrarse entre las diferentes partes del jamón. La distancia entre las diferentes zonas o la presencia de sal, huesos y tejido conjuntivo, puede reducir la velocidad a la cual tiene lugar este proceso (Arnau y col., 1995). Globalmente, la proporción de sal que se encuentra en el magro, aumenta continuamente durante el proceso debido a la cesión de sal de partes no musculares, como la grasa subcutánea, la corteza y algunos huesos (Boadas y col., 2001).

1.3.2.1.3. Actividad de agua

La actividad de agua disminuye durante el salado por absorción de sal y durante el secado por pérdida de agua. Los valores de a_w no son uniformes en toda la masa muscular, debido a la tecnología del proceso y a la estructura del jamón, siendo superiores en los músculos más internos (Hernández y Huerta, 1993).

1.3.2.1.4. Nitritos y nitratos

En los procesos en los que sólo se usan nitratos, los nitritos aumentan durante el periodo de reposo e inicio del secado, especialmente en las zonas superficiales, y prácticamente desaparecen al final del secado. (Hernández y Huerta, 1993; Arnau y col., 1995).

En cuanto a los nitratos, tras el salado, se encuentran concentraciones importantes de los mismos en todos los músculos, lo cual muestra que se difunde muy rápidamente (Arnau y col., 1995). Posteriormente su concentración en el interior aumenta en el reposo y disminuye durante el resto del proceso por reducción a nitritos, mientras que en superficie disminuye continuamente por difusión y reducción. Esta disminución es mayor en la etapa de reposo, coincidiendo con un descenso importante de la cantidad global de nitratos en todo el magro del jamón en esta etapa. Al final del proceso, la concentración en los músculos interiores (más húmedos) es mayor que en los exteriores, lo que puede ser debido a una tendencia a equilibrar el cociente nitrato/agua (Arnau y col., 1995).

1.3.2.1.5. pH

Su valor normalmente oscila entre 5.6 y 6.2, con diferencias entre los diferentes músculos. La tendencia general del pH, tanto en superficie como en profundidad, es a aumentar ligeramente durante el proceso (Arnau y col., 1995). Estos valores no representan ningún obstáculo al crecimiento microbiano. El pH es más fluctuante en la parte superficial, ya que se ve afectado por varios factores como: la rápida entrada de sal; un secado más rápido e intenso; la dinámica de precipitación de los fosfatos, los cuales tienden a migrar hacia la superficie durante el salado y reposo, especialmente si en esta última etapa la humedad relativa ambiental es alta (Arnau y col., 1993; Arnau y col., 2003a); el crecimiento microbiano, el cual es mayor en superficie (Hernández y Huerta, 1993). Arnau y col., (1995) registraron una disminución del valor del pH del *Gracilis* durante el salado, y un incremento importante durante el reposo. Lo primero lo atribuyeron a la pérdida de fosfatos u otros compuestos básicos, así como a la absorción de la sal y lo segundo a la cristalización de Na_2HPO_4 posterior.

1.3.2.2 Evolución de la microbiota saprófita del jamón curado

Los microorganismos presentes en la superficie del pernil crudo provienen fundamentalmente de las operaciones posteriores al sacrificio del animal (evisceración y escaldado), y su origen es tanto intestinal como ambiental (utensilios, manipuladores). (Cornejo y

Introducción

col., 1990) El número de estos microorganismos inicialmente presentes en la superficie del pernil puede estar afectado por las condiciones de transporte, almacenamiento, refrigeración (Carrascosa y col., 1989), así como por el tiempo de almacenamiento (Langlois y Kemp, 1974). El tiempo transcurrido desde la obtención de los perniles tras el sacrificio del animal hasta la descongelación en la fábrica y las condiciones ambientales a las que han permanecido, también pueden producir un descenso de a_w en la superficie de los mismos, dificultando el crecimiento de microorganismos en la superficie (Carrascosa y col., 1989). Asimismo, la sal se contamina con las superficies de las piezas, ambiente de la fábrica, manipuladores y al ser reutilizada, puede actuar como vehículo inoculador de los microorganismos halotolerantes (Hernández y Huerta, 1993).

Por otro lado, en la microbiota del jamón tras el lavado, además del manejo, también influye la del agua de lavado. Los recuentos obtenidos en el agua que proviene del lavado de las piezas tras el salado, nos pueden indicar aproximadamente el número de microorganismos que se encuentran en la superficie de los perniles. Se desaconseja, pues un lavado por inmersión, ya que sería un foco de contaminación (Silla y col., 1989; Marín y col., 1993).

Cornejo y col. (1992) hacen un resumen de las hipótesis que intentan explicar el origen de los microorganismos que crecen en el interior de los jamones. Estos autores sugieren que los microorganismos que se encuentran en los músculos *semimembranosus*, *gracilis*, *sartorius*, *vastus medialis* y *vastus lateralis* tienen un origen fundamentalmente extrínseco, es decir penetrarían desde la superficie del magro del jamón. Entre las posibles vías de entrada desde la superficie se encuentran: la arteria femoral; las grietas y fisuras que, debido al proceso de secado, se producen en la superficie del jamón; los poros que se producen en la carne bien durante el desarrollo del rigor mortis o bien debido a la formación de cristales en el proceso de congelación-descongelación; las rutas de entrada que podrían crear los enzimas proteolíticos, bien aquellos presentes en la carne o bien, aunque en menor medida, los provenientes de los propios microorganismos. Por el contrario, los microorganismos presentes en el músculo *biceps femoris* tienen fundamentalmente un origen intrínseco, ya que la capa de grasa subcutánea limita su acceso al interior del jamón. Esta microbiota intrínseca estaría en los tejidos internos del animal después de su muerte.

Los principales grupos de microorganismos saprófitos existentes en el jamón y, por tanto, objeto de estudio en la bibliografía, son los microorganismos mesófilos, los microorganismos halotolerantes, los cocos Gram-positivos catalasa-positivos, bacterias ácido lácticas, mohos y levaduras. Los Cocos GC+ evolucionan paralelamente a los recuentos de halotolerantes y

mesófilos, mientras que las bacterias ácidolácticas y las levaduras se encuentran en número más bajo.

1.3.2.2.1 Microbiota halotolerantes y Cocos Gram-positivos Catalasa-positivos

El grupo de los cocos Gram-positivos Catalasa-positivos (en adelante cocos GC+) es un grupo que incluye bacterias gram positivas, anaerobias facultativas, catalasa positivas y con actividad nitrato-reductásica. Algunos de ellos pueden crecer en concentraciones importantes de sal. Pueden hidrolizar la glucosa obteniendo gas y ácido pero en menor proporción que las bacterias ácido-lácticas. Los cocos GC+ pertenecían a una familia tradicionalmente denominada *Micrococcaceae* (Stackebrandt y col., 1995), la cual incluía especies con propiedades similares, tecnológicamente hablando y con una importancia similar en la maduración del salchichón y jamón curado (Lücke, 1986). La familia *Micrococaceae* se consideraba dividida en 4 géneros: *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Stomatococcus* y *Planococcus*. Con el avance de las técnicas taxonómicas moleculares se ha comprobado que tal familia no existe y las especies anteriormente englobadas en el género *Micrococcus* se han reclasificado en 5 géneros: *Kytococcus*, *Nesteronkonnia*, *Dermacoccus*, *Kocuria* y *Micrococcus* (Stackebrandt y col., 1995). Los principales géneros de interés en el hábitat cárnico son *Staphylococcus* y *Kocuria*. Los primeros son anaerobios facultativos, con metabolismo respiratorio y fermentativo. Normalmente crecen en medios con 10 % de NaCl (*S. carnosus* puede crecer en medios con 15 % de sal) y su temperatura óptima de crecimiento es 30-37° C. Las bacterias del género *Kocuria* son aerobias, aunque existen cepas de *K. Kristinae* que pueden ser ligeramente anaeróbicas facultativas. Normalmente crecen en medios con 10 % de NaCl, aunque *K. Varians* crece mejor con un 7,5 % de sal. Son mesófilas (Stackebrandt y col., 1995).

Varios autores señalan que los cocos GC+ son los microorganismos predominantes durante el proceso de curado en jamón español (Francisco y col., 1981; Jóciles y col., 1983; Molina y col., 1989b; Silla y col., 1989; Carrascosa y col., 1988, 1989; Carrascosa y Cornejo 1991; Cornejo y col., 1992), jamón de Parma (Baldini y col., 1977; Giolitti y col., 1971), jamones americanos (Langlois y Kemp, 1974, Bartholomew y Blumer 1977b) y jamones alemanes (Rheimbaden y Seipp, 1986). Las características de la materia prima, la salazón y la evolución de la temperatura y la humedad relativa ambiental durante el proceso estudiado crean unas condiciones en el jamón que favorecen el desarrollo mayoritario de los Cocos GC+, cuya capacidad halotolerante es conocida (Carrascosa y col., 1988). Además su hábitat primario es la piel de los mamíferos y se encuentran entre los microorganismos que mejor soportan el ciclo de congelación-descongelación

Introducción

al que se someten con frecuencia los perniles al principio del proceso (Bartholomew y Blumer, 1977b).

Dentro de esta familia el género más frecuente es *Staphylococcus* y la especie *Staphylococcus xylosus* es la más numerosa (Molina y col., 1989b; Cornejo y Carrascosa, 1991, Carrascosa y Cornejo, 1991, Rodríguez y col., 1994).

Los recuentos de Cocos GC+ y de microorganismos halotolerantes en superficie apenas varían durante el salado o disminuyen ligeramente, y después del salado son muy parecidos a los de la microbiota mesófila (Hugas y col., 1987; Cornejo y col., 1990; Carrascosa y col., 1989; Marín y col., 1993). Esto se debe a que durante esta etapa hay una selección de la microbiota halotolerante, principalmente Cocos GC+, la cual será capaz de crecer en un medio con un contenido salino del 4 al 8% (Hugas y col., 1987). Carrascosa y col. (1988), por el contrario, observaron un aumento de la microbiota superficial en el salado. A pesar de que las condiciones de la superficie en el salado son peores para el crecimiento de los microorganismos (baja a_w , baja temperatura), no se registra un claro descenso en los recuentos, probablemente debido a la tolerancia de los grupos microbianos estudiados respecto a dichos factores y a la presencia de microorganismos en la sal (Carrascosa y col., 1989), a unas condiciones higiénicas deficientes o a una escasa eficacia en las operaciones de lavado y cepillado (Carrascosa y col. 1988).

Si el salado se realiza mediante inmersión en salmuera, tal y como se realiza en algunos países centro y noreuropeos (Dirinck y col., 1997), los Cocos GC+ son predominantes en la misma, estando también presentes las bacterias gram-negativas tolerantes a la sal y a las bajas temperaturas. Estas últimas (por ejemplo especies del género *Vibrio*) y los Cocos GC+ reducen el nitrato a nitrito y ayudan en la aromatización, pero, si crecen demasiado, pueden deteriorar la salmuera o, si ésta entra dentro del jamón por bombeo o por otra vía, pueden alterar el producto (Lücke, 1986).

Varios autores (Carrascosa y col., 1989; Marín y col., 1993) han señalado que durante el reposo se distinguen dos fases: en la primera mitad la microbiota halotolerante en los músculos más externos disminuye o se mantiene para después, en la segunda parte, aumentar. El hecho de que, a pesar de que la a_w aumenta y los cloruros disminuyen en los músculos superficiales, los microorganismos no aumenten durante la primera mitad del reposo quizá sea debido a que los microorganismos están penetrando hacia el interior (Carrascosa y col., 1989). Durante la segunda mitad del reposo, las condiciones fisicoquímicas en superficie e interior no mejoran para el crecimiento de microorganismos. El aumento de los recuentos puede deberse a que los microorganismos además de halotolerantes son psicrotrofos. (Carrascosa y col., 1989). Este

aumento ha sido indicado por otros autores (Cornejo y col., 1990). En profundidad, también se ha observado un aumento global en el reposo de la microbiota halotolerante. (Hugas y col., 1987; Silla y col. 1989; Marín y col., 1993)

Durante el secado, en profundidad el número de bacterias halotolerantes va incrementándose a medida que aumenta la temperatura, para luego descender en las etapas finales, sobre todo en la estancia en bodega (Carrascosa y col., 1989; Marín y col., 1993). Este comportamiento se ha relacionado con la acción de las sales y la desecación (Marín y col., 1993). En superficie, se registra una evolución similar (Hugas y col., 1987).

Carrascosa y col. (1989), en un proceso rápido observaron que al aumentar la temperatura a 32°C, los microorganismos superaron una etapa de latencia, en la que el crecimiento era pequeño, y su número se incrementó de forma importante. Al elevar la temperatura a 35°C el número aumentó de manera menos marcada como consecuencia de las condiciones fisicoquímicas alcanzadas. Asimismo, según este autor, la menor concentración de bacterias mesófilas y micrococáceas en el curado lento comparado con el rápido, probablemente fuera debido a la menor a_w y a la mayor concentración de cloruros.

Al comparar el número de estas bacterias en la parte interna y externa del jamón, Marín y col. (1993) encontraron que en la mayoría de los recuentos, al aumentar la temperatura a 35°C, no observaron diferencias entre las zonas de BF y SM + Recto Interno. Sin embargo las bacterias mesófilas eran 10 veces más abundantes en el BF que en la zona de SM + RI, posiblemente por la menor a_w de éstos. Sin embargo, con las halotolerantes y aerobias ocurrió al revés, quizá debido a que en la zona del SM + RI, que es más externa, las bacterias están más adaptadas a las condiciones del proceso, esto es, toleran temperaturas bajas y concentraciones altas de sal. En jamón ibérico, Rodríguez y col., (1994) obtuvieron recuentos de Cocos GC+ en superficie de hasta 10^8 u.f.c./g, mientras que en el interior no pasaron de 10^5 u.f.c./g.

1.3.2.2.2 Bacterias Ácido-lácticas

Las bacterias ácido-lácticas son aquellas que producen ácido láctico como el principal producto final de la fermentación de hidratos de carbono. Las más típicas se clasifican en las familias *Streptococcaceae* (principalmente *Lactococcus*, *Leuconostoc* y *Pediococcus*) y *Lactobacillaceae* (*Lactobacillus*) (Lücke, 1986). Los otros géneros incluidos son *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Vagococcus*, *Weisella*, *Oenococcus* y *Tetragenococcus* (Vandamme y col., 1996). Son bacterias gram-positivas, no esporuladas, en forma de coco, coco-bacilo o bacilo y

Introducción

normalmente no móviles. Son anaerobias aerotolerantes catalasa negativas (algunas cepas presentan una pseudo-catalasa) que fermentan carbohidratos para formar principalmente ácido-láctico. Existe un subgrupo, conocido como cepas heterofermentativas, que, además de ácido láctico también producen cantidades importantes de CO₂ y ácido acético o etanol (Lücke, 1986). En el jamón curado, su número está siempre por debajo del de microorganismos halotolerantes y totales (Hugas y col., 1987; Francisco y col., 1981; Silla y col., 1989; Marín y col., 1993). Los valores de concentración de sal y agentes nitrificantes no inhiben totalmente el crecimiento de estos microorganismos (Molina y col., 1989a) Las bacterias ácidolácticas se ven influenciadas, primero, por la temperatura, por lo que su número desciende en el reposo, al ser sensibles a las bajas temperaturas, y aumenta al inicio del secado. Posteriormente se produce una disminución en la última etapa del secado y durante los meses de bodega, debido a la mayor influencia de otros factores como la actividad de agua y concentración de sales (Francisco y col., 1981; Hugas y col., 1987; Silla y col., 1989, Marín y col., 1993). Esta disminución de la a_w durante el secado impide que se alcance valores elevados (Carrascosa y col., 1989; Marín y col., 1993). Los resultados de List y Klettner (1978) muestran que incluso una disminución de la actividad de agua inicial de 0,96 a 0,955 enlentece la acidificación producida por estas bacterias y por debajo de 0,91, se detiene completamente. Esto explicaría que en procesos de corta duración, donde las temperaturas son más elevadas, aparecen en mayor número que en procesos de larga duración donde se suelen utilizar temperaturas más bajas y se llegan a menores valores de a_w (Silla y col., 1989). Sin embargo, Hernández y Huerta, (1993), en un proceso lento con temperaturas constantemente en aumento e inferiores a 20°C en todo el proceso, observaron un aumento continuo de los recuentos de las bacterias ácido-lácticas desde el presalado hasta llegar a un máximo de 10⁵ ufc/g en superficie cuando la temperatura era de 8°C (en la etapa de secado). Posteriormente su número descendió constantemente hasta el final del proceso. En el interior, la evolución fue parecida, aunque los recuentos se situaron entre una y dos unidades logarítmicas por debajo y la disminución en las etapas finales fue más brusca.

Los recuentos de bacterias ácido-lácticas registrados en la bibliografía son muy variables. Así Carrascosa y col. (1988), en un proceso rápido de curación no detectaron este grupo de bacterias ni en superficie ni en el interior de jamones en ninguna de las etapas del proceso. Carrascosa y col. (1989) obtuvieron recuentos que no superaron el nivel medio de 10² ufc/g y dejaron de detectarse tras el reposo en el interior. Francisco y col., 1981 no detectaron bacterias ácidolácticas en profundidad, mientras que en superficie obtuvieron recuentos de 10⁴ ufc/g a mitad de secado en un proceso lento. En cambio, en una etapa equivalente, pero de curado rápido, Silla y

col. (1989) hallaron estos valores en el interior de jamones. Marín y col. (1993) no detectaron este grupo de bacterias en el interior de las piezas al final del reposo, pero su número comenzó a aumentar posteriormente, llegando a ser de 7×10^4 ufc/g a mitad de secado para disminuir posteriormente durante la etapa de bodega hasta niveles casi indetectables. Hernández y Huerta, (1993) hallaron recuentos máximos de 10^5 y 10^4 en superficie y profundidad respectivamente. Jóciles y col. (1983), señalan valores de hasta 7 unidades logarítmicas en superficie de jamón ibérico, que descienden hasta 5 unidades en el noveno mes de secado y Baldini y col, (1977) obtuvieron en superficie 10^6 bacterias/g. El relativo bajo número de estos microorganismos en el interior del jamón indica su bajo protagonismo en la elaboración del mismo, como ha sido indicado por otros autores (Kitchel y Shaw, 1975). Su número aumenta en sustratos similares si se realiza su inoculación acompañada de la adición de azúcares (Bartholomew y Blumer, 1977a; Liepe y Porobic, 1984) o si se usan determinadas tecnologías de salado (Hugas y Garriga, 1987) y en ciertos lugares del jamón de difícil deshidratación, como en músculo recubierto de piel y grasa y en la cercanía de la arteria femoral (Baldini y col., 1977). La adición de azúcares y el almacenamiento en atmósfera modificada también favorecen su crecimiento (Hugas y Garriga, 1987; Wang, 2001).

En cuanto a las especies más frecuentes en el jamón curado, Molina y col, (1989a) encontraron como especies predominantes a *Pediococcus pentosaceus*, *Lactobacillus alimentarius*, *L. curvatus* y *L. casei* subsp. *Rhamnosus* y García-Ruiz y col. (2001) a *Leuconostoc mesenteroides* y *P. pentosaceus*

En ciertos países del norte y centro de Europa, el jamón se sala por inmersión en salmuera, en la cual hay un número importante de bacterias ácido lácticas halotolerantes que pueden tener un efecto conservante en la misma, previniendo el excesivo crecimiento de bacterias gram-negativas (Lücke, 1986). Asimismo el número de bacterias ácido-lácticas en jamones fabricados con esta tecnología es importante (Liepe y Porobic, 1984).

1.3.2.2.3. Levaduras y mohos

El jamón, al igual que la mayoría de los derivados cárnicos que se someten a un proceso de secado, permite el desarrollo de varios grupos de mohos y levaduras a nivel superficial, ya que estos alimentos normalmente ofrecen condiciones de humedad y temperatura apropiados para su desarrollo (Leistner y Eckardt, 1981; Motilva y col., 1991). No obstante, la actividad de agua

Introducción

puede actuar como factor limitante de su crecimiento, en combinación con otras variables del proceso como temperatura, concentración de sal, nutrientes, pH, etc (Hanh-Haegerdal, 1986).

En general los autores que han estudiado la evolución de las levaduras durante el procesado de jamón español encuentran que es similar a la de las bacterias halotolerantes, aunque su número es más bajo en todo el proceso (Hugas y col., 1987). En la bibliografía, los mayores recuentos se dan en superficie, donde la diferencia con respecto al resto de grupos microbiológicos es menor (Hugas y col., 1987; Carrascosa y col., 1988; Carrascosa y col., 1989; Silla y col., 1989; Hernández y Huerta, 1993). Comi y Cantoni (1983) estudiaron su distribución en el jamón y observaron que se repartían de la siguiente manera: 10 % en el interior 25 % en la superficie, 20 % en los vasos sanguíneos y 45 % en los gránulos de tirosina. El desarrollo de las levaduras en el interior del jamón ha sido poco estudiado ya que o no se ha detectado su presencia (Francisco y col., 1981; Jóciles y col., 1983; Hugas y col., 1987) o los niveles encontrados han sido tan bajos que su papel en el proceso del curado se ha considerado de poca importancia. No obstante existen trabajos donde consideran que la capacidad proteolítica y lipolítica de las levaduras puede contribuir a la maduración del jamón curado (Comi y col., 1982; Comi y Cantoni, 1983; Huerta y col., 1988; Molina y col., 1991). La menor velocidad de crecimiento de las levaduras es la causa de que no alcancen concentraciones superiores, compitiendo desfavorablemente con el grupo mayoritario, sobre todo en el interior. En menor medida puede limitar su crecimiento la presencia de cloruro sódico, aunque algunos autores hayan aislado levaduras de productos similares con una elevada tolerancia a dicho compuesto (Carrascosa y col., 1989).

Huerta y col. (1988) identificaron a las especies, *Debaryomyces hansenii* y *D. Kloeckeri* como las más abundantes en el jamón, ambas con marcada actividad lipolítica y proteolítica (Comi y Cantoni, 1983; Huerta y col., 1988). *D. hansenii* se caracteriza por su alta tolerancia a la sal, alta demanda de oxígeno y la no descomposición del nitrato (Jessen, 1995). Núñez y col., (1996a) identificaron a *Candida zeylanoides* como la principal especie en las primeras etapas del proceso en jamón ibérico, pero tras el reposo las predominantes fueron cepas no fermentativas de *D. hansenii*. Monte, y col., (1986) obtuvieron recuentos de levaduras entre 10^4 y 10^5 en jamones ibéricos, en los cuales *Debaryomyces maramba* fue la única especie de levadura presente, capaz de crecer en un medio que contiene 16% de NaCl. Esto coincide con lo hallado en otros trabajos de identificación realizados en jamón ibérico (Núñez y col., 1996a) y en jamón italiano (Comi y Cantoni, 1983) en los que el genero predominante también fue *Debaryomyces* (Comi y Cantoni, 1983). En cambio, Molina y col., (1990) aislaron en mayor número especies del género *Hansenula*. Saldanha-da-Gama y col., (1997) estudiaron las levaduras presentes en la grasa de

jamón curado y obtuvieron recuentos de hasta 10^8 ufc/g, siendo *D. hansenii* la especie predominante.

Si bien durante el reposo el crecimiento de levaduras en superficie supera al de hongos, debido a la alta humedad y baja temperatura, posteriormente hay una disminución de levaduras en favor de los mohos, puesto que el progresivo descenso de la actividad de agua favorece el desarrollo de éstos en detrimento de las levaduras (Hugas y col., 1987).

Respecto a los mohos, los géneros más frecuentes en el jamón blanco son *Aspergillus* y *Penicillium*, apareciendo otros géneros en mucha menor proporción. *Penicillium* es predominante en las primeras etapas del secado y *Aspergillus*, fundamentalmente del grupo *Glaucus* lo son en las etapas finales del secado, tanto en jamones blancos españoles (Huerta y col, 1987; Rojas y col., 1991) como americanos (Motilva y col. 1991). Este último género soporta mejor las bajas a_w que *Penicillium* (Hernández y Huerta, 1993). Además el aumento de temperatura a partir del sexto mes condiciona también que sea el género *Aspergillus* el dominante al final del proceso (Hernández y Huerta, 1993; Rojas y col., 1991). Así, Huerta y col, (1987) hallaron que durante el salado y reposo, las especies *A. niger*, *Cladosporium herbarum* y *Rhizopus nigricans* fueron las predominantes. Al iniciarse el periodo de secado, *A. flavus*, *A. fumigatus*, *P. chrysogenum* y *P. purpurogenum* dominaron sobre las otras especies. y *A. flavus* desapareció tras el tercer mes. Al sexto mes los *Aspergillus* del grupo *glaucus* predominaron claramente. Motilva y col. (1991) estudiaron los mohos presentes hasta la semana 13 de curado y hallaron que la frecuencia en que el género *Penicillium* aparece en jamones blancos disminuía durante el salado, aumentaba durante el reposo y volvía a disminuir a partir de las 10 semanas de curado, al contrario de lo que ocurría con el género *Aspergillus*, cuya frecuencia, siempre muy baja, disminuía cuando hubo algún cambio de temperatura (de 3 a 15°C) o humedad (de 80-85 a 75-80 %) . Dentro del género *Penicillium*, Huerta y col (1987) hallaron las siguientes especies como predominantes: *P. notatum*, *P. purpurogenum*, *P. digitatum* y *P. cyaneofulvum*. Rojas y col., 1991, encontraron a *glaucus*, *fumigatus*, *niger* y *flavus* los grupos de *Aspergillus* más abundantes por este orden y, respecto a las especies de este género, Huerta y col (1987) observaron que *A. halophilicus*,(18%) *A. amstelodami*, *A. chevalieri* y *A. niger* son las mayoritarias (cada una representa más del 10%). La menor actividad de agua de los jamones españoles comparados con los americanos e italianos, hace que en éstos últimos sean otras especies de *Aspergillus* diferentes a las del grupo *glaucus* las que predominen. (Rojas y col., 1991).

A. halophilicus,(18%) *A. amstelodami* y *A. chevalieri* son mucho más xerófilos que otros *Aspergillus* detectados. *A. halophilicus* es uno de los más xerófilos y halotolerantes (12%) y está

Introducción

obviamente muy influenciado por las condiciones especiales de la elaboración. La presencia de ácido bórico está correlacionado con el color violeta de algunos jamones y se debe al hongo *A. halophilicus* (Huerta y col., 1987). Este hongo produce una marcada actividad Dnásica, lipolítica y proteolítica y contribuye a eliminar microorganismos patógenos y favorece las características organolépticas del producto (Huerta y col., 1987b), por lo cual este hongo podría tener interés para un uso comercial, siempre que no produjera micotoxinas usado comercialmente por estas razones y porque podría ser buen indicador del uso de ácido bórico (Huerta y col, 1987).

La evolución de los hongos en el jamón ibérico presenta algunas diferencias respecto al jamón blanco (Monte y col., 1986; Núñez y col., 1996b). La presencia de *Aspergillus* es mucho menos importante, siendo *Eurotium* el género prevalente en las últimas etapas. Así Núñez y col. (1996) no hallaron presencia de *A. flavus* ni *A. parasiticus*. La población fúngica del jamón ibérico incrementa en diversidad con el tiempo de maduración, al contrario que la de los cocos GC+ y levaduras (Núñez y col., 1996a, 1996b). La mayoría de los hongos presentes en el jamón ibérico a lo largo de todo el proceso mostraron toxicidad contra *S. aureus*. Esta actividad, podría inhibir a los cocos GC+.

1.3.2.3 Cambios en la fracción lipídica

1.3.2.3.1 Descripción de los lípidos del jamón

Los lípidos del jamón se encuentran en la grasa subcutánea, en el tejido adiposo entre músculos (grasa intermuscular) y formando parte de la grasa intramuscular, término que designa tanto los lípidos del tejido adiposo intramuscular como los lípidos de las fibras musculares. Esta grasa es especialmente importante, ya que influye sobre propiedades organolépticas como la jugosidad, brillo, aceitosidad, sequedad, fibrosidad y dureza (Ruiz-Carrascal y col., 2000). Además, los lípidos intracelulares son los que tienen mayor proporción de fosfolípidos (Watts, 1972), los cuales son más susceptibles a la oxidación por su alto contenido en ácidos grasos insaturados (Giam y Dugan, 1965).

La cantidad y composición de los lípidos del jamón. depende de factores como la raza, edad, nutrición animal, sexo y localización anatómica, aunque estos factores tienen poca influencia sobre la proporción de ácidos grasos poliinsaturados de los fosfolípidos (Gandemer, 1998).

1.3.2.3.2 Lipolisis

Durante la maduración del jamón se desarrollan sobre los lípidos una serie de procesos enzimáticos de carácter hidrolítico que conducen a la liberación de los ácidos grasos unidos al glicerol, especialmente durante los 5 primeros meses (Toldrá y Flores, 1998). La lipolisis que ocurre en la maduración del jamón, tiene como principal consecuencia las reacciones que sufren los ácidos libres resultantes, ya que se considera un factor que promueve la oxidación lipídica. (Gandemer, 1998)

En el tejido adiposo la hidrólisis afecta principalmente a los triacilglicéridos, mientras que en la grasa intramuscular los fosfolípidos son el principal sustrato de la lipolisis. La proporción de ácidos libres en la grasa intramuscular provenientes de la hidrólisis de los triacilglicéridos es menor y proporcional al contenido lipídico del músculo (Alasnier, 1996)

Todrá y Flores, (1998) hacen una revisión sobre las enzimas lipolíticas del tejido adiposo y muscular, así como de la evolución de su actividad y de los factores que las afectan. En el músculo las enzimas más importantes son la lipasa ácida microsomal, que hidroliza los tri-, di- y monoglicéridos y tiene un pH óptimo comprendido entre 4,5 y 5 y las fosfolipasas A1 y A2 que cataliza la hidrólisis de los fosfolípidos (enlaces en posición 1 y 2 respectivamente). Otras enzimas lipolíticas musculares de menor importancia son la lipasa neutra, esterasa ácida y esterasa neutra, responsables de la generación de ácidos grasos de cadena corta. Las enzimas principales del tejido adiposo son la lipoprotein lipasa, la lipasa neutra y la monoacilglicerol lipasa. En general, la lipasa neutra del tejido graso y las lipasas y fosfolipasas del músculo permanecen activas durante todo el proceso, siendo estas últimas las más activas.

En general, la actividad enzimática disminuye tras el reposo, aumentando ligeramente con el aumento de temperatura al principio de la etapa de secado posteriormente disminuye muy ligeramente (Toldrá, 1998a, 1988b). Concentraciones superiores al 2 % de sal inhiben la lipasa neutra y la esterasa neutra, pero activa la lipasa ácida (Motilva y Toldrá, 1992). Algunas lipasas son también ligeramente inhibidas por el ácido ascórbico (Motilva y Toldrá, 1992) y parcialmente inhibidas por la mioglobina (Rosell y Toldrá, 1996).

Díaz (1993) realizó un estudio de la evolución de los ácidos libres en jamón serrano y encontró que los valores de la concentración de ácidos libres de la grasa subcutánea incrementó de manera importante durante el salado, ya que su oxidación es poco importante. Se apreció un descenso en el reposo para aumentar después de modo regular hasta el final del proceso. Por el contrario, en los músculos *Semimembranosus*, y *Biceps femoris* la concentración de ácidos grasos

Introducción

libres disminuyó durante el salado, sobre todo en el primero, probablemente debido a la oxidación, la cual es favorecida por la acción de la sal, que penetra antes en el músculo *Semimembranosus*. En el reposo no se observaron variaciones importantes. En la etapa inicial del secadero se produjo un aumento de la concentración de ácidos grasos libres de estos músculos, en las etapas posteriores se estabilizó y en la final se observó una ligera disminución de los ácidos grasos insaturados; esta evolución implica que en las etapas intermedia y final de secadero se produce una oxidación que hace disminuir la concentración a pesar de que hay un aumento de la temperatura y esto debería producir un aumento de la cantidad de ácidos grasos libres. Al disminuir la temperatura en la última etapa de secadero se produjo una disminución de la cantidad de ácidos grasos, al detener parcialmente la liberación de los mismos. Esta evolución concuerda con la expresada por otros autores (Antequera y col., 1991; Motilva y col., 1993). Díaz (1993) registró un descenso mayor del araquidónico en el músculo SM, hecho que se puede asociar con una mayor oxidación, lo cual puede estar influido por un acceso más fácil del oxígeno a este músculo. La concentración de los ácidos grasos libres, expresada por gramo de grasa extraída, fue mayor en los músculos que en la grasa subcutánea. Los ácidos grasos libres mayoritarios en la grasa y músculos fueron C16:0, C18:1 y C:18:2.

A diferencia de lo anteriormente mencionado, en jamones envasados en atmósfera de nitrógeno, y que por tanto no sufrían variaciones en el contenido acuoso, ni una oxidación lipídica importante, Wang (2001) observó, en piezas de *quadriceps femoris* saladas y secadas durante 5 días, que la evolución de la lipólisis era bastante lineal durante 5 meses de almacenamiento en atmósfera anaeróbica a 15°C.

Según Díaz (1993), en la formación de ácidos grasos libres es menos importante el factor tiempo que las condiciones combinadas de temperatura/tiempo (gradiente) y concentración de sal, e incluso la primera puede ser más importante en cuanto a la velocidad de liberación de estas moléculas.

1.3.2.3.3. Oxidación lipídica

Uno de los factores que se relacionan directamente con las características sensoriales del jamón curado es la oxidación de los lípidos. En la carne fresca y cocinada este fenómeno se suele asociar con un deterioro de la calidad sensorial. Sin embargo, en el caso del jamón curado la oxidación lipídica puede contribuir a la calidad sensorial siempre y cuando no supere una intensidad que la haga negativa por predominar los olores y sabores rancios. Esta oxidación puede

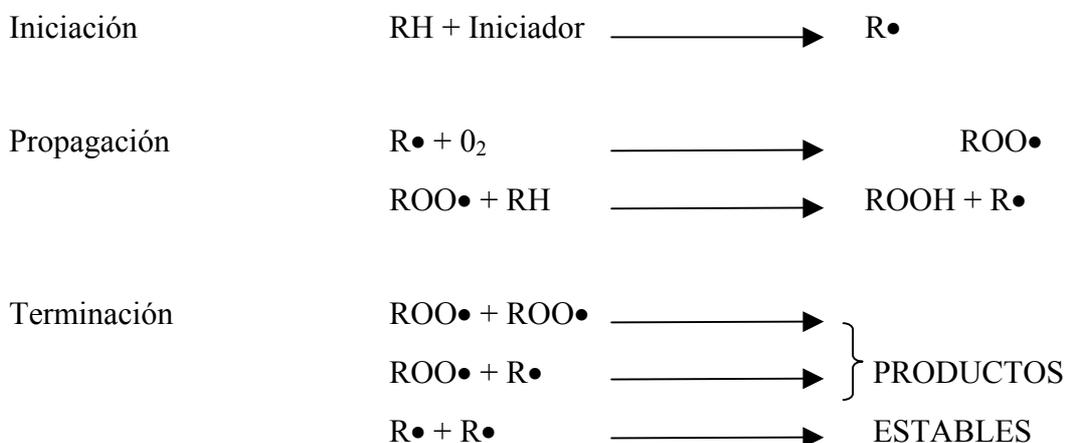
ocurrir mediante dos procesos principales: autooxidación y oxidación enzimática. En el jamón curado la escasa contribución de los microorganismos, y la posible inactivación de enzimas endógenos nos lleva a considerar a la autooxidación como el proceso que probablemente es el más importante.

Las reacciones oxidativas de los lípidos se inician en la fracción de fosfolípidos debido al alto contenido en ácidos grasos poliinsaturados que muestran en su composición y a su asociación a las membranas a catalizadores de las reacciones oxidativas (Gray y Pearson, 1987).

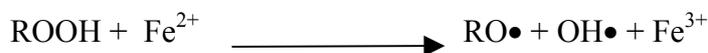
El mecanismo de generación de radicales libres en la oxidación lipídica implica las fases de iniciación, propagación y terminación (Lundberg, 1962).

La iniciación del proceso oxidativo sucede cuando un átomo de hidrógeno es abstraído de una molécula de ácido graso (RH) para formar un radical lipídico (R•). La propagación implica la reacción del radical lipídico (R•) con el oxígeno molecular para formar un radical lipídico peroxi (ROO•). Este radical peroxi es capaz de abstraer un átomo de hidrógeno de otro ácido graso insaturado y, por tanto, propagar la reacción en cadena. En la fase de terminación se produce la reacción de radicales libres para formar moléculas estables.

El esquema general de la oxidación se representa del siguiente modo:



Los hidroperóxidos (ROOH) formados pueden experimentar roturas, por catálisis en las que entran a formar parte los iones metálicos como el cobre y el hierro, para formar radicales oxo (RO•) y radicales hidroxilo (OH•) capaces de iniciar oxidaciones posteriores.



Introducción

Los radicales alcoxi pueden iniciar reacciones de formación de radicales libres, o pueden degradarse a un amplio número de compuestos que dan lugar al desarrollo de los aromas propios de cada alimento.

Los hidroperóxidos formados en las reacciones de propagación son los productos primarios de la oxidación. Este tipo de compuestos carecen de olor con lo que no tienen repercusión sobre el aroma de los alimentos, pero van a ser el origen de los productos secundarios volátiles y no volátiles como hidrocarburos, aldehidos, cetonas, alcoholes y lactonas. Estos compuestos son los responsables de algunas características aromáticas de los productos en los que se encuentren.

1.3.2.3.4. Factores que afectan a la oxidación

a) Composición de los lípidos

Los ácidos grasos se oxidan a una velocidad más alta cuando están en forma libre que cuando están esterificados al glicerol. Los ácidos grasos insaturados se oxidan mucho más rápidamente que los saturados, cuya autooxidación es extremadamente lenta. El número, posición y geometría de los dobles enlaces influye en la velocidad de reacción. Las velocidades respectivas de oxidación de los ácidos C18:1, C18:2, C18:3 y C20:4 están en una relación aproximada de 1:10:20:40. Los enlaces cis se oxidan más que los trans y los dobles enlaces conjugados son más reactivos que los no conjugados (Fennema, 1993).

b) Actividad de agua

La velocidad de oxidación depende en gran medida de la actividad de agua. El jamón curado pertenece al grupo de alimentos de humedad intermedia, los cuales tienen valores de actividad de agua entre 0,6 y 0,9. En este intervalo, la velocidad de oxidación aumenta al disminuir la actividad de agua. (Belitz y Grosch, 1988)

c) Temperatura

En general, la velocidad de oxidación aumenta con la temperatura.

d) Superficie libre

La velocidad de oxidación aumenta proporcionalmente con el área de líquido expuesto al aire. En las emulsiones de aceite en agua, la velocidad de oxidación está condicionada por la velocidad con la que el oxígeno se difunde dentro de la fase oleosa.

e) Concentración de oxígeno

Si el suministro de oxígeno es ilimitado, la velocidad de oxidación es independiente de su presión parcial, pero cuando la presión de oxígeno es muy baja, la velocidad es aproximadamente proporcional a ella; sin embargo, el efecto de la presión de oxígeno sobre la velocidad viene también influenciado por otros factores como la temperatura y el área superficial. La temperatura tiene efecto sobre la presión parcial de oxígeno. A medida que la temperatura aumenta, es menos importante el efecto de la concentración de oxígeno sobre la velocidad, ya que el oxígeno es menos soluble a medida que se eleva la temperatura. A medida que aumenta la relación superficie-volumen, la reducción de la presión parcial del oxígeno es menos efectiva a la hora de disminuir la velocidad de oxidación (Fennema, 1993).

f) Presencia de prooxidantes

Alguno de estos prooxidantes presentes en el jamón son:

- Metales

La oxidación lipídica se ve favorecida por metales como el hierro, el cobalto y el cobre que facilitan la transferencia de electrones aumentando las tasas de formación de radicales libres (Ingold, 1962). En la oxidación mediada por iones metálicos, las cantidades que de dichos metales existan tienen tanta importancia como la forma química en que se encuentran.

Los hidroperóxidos en estado puro son estables a temperaturas fisiológicas, pero en presencia de complejos de metales de transición especialmente sales de hierro, la descomposición de los mismos se acelera considerablemente (Ingold, 1962). El hierro presente en los pigmentos de la carne también puede intervenir en la oxidación.

Introducción

-Sal

Se ha atribuido un efecto prooxidante al cloruro sódico sobre los lípidos de la carne y los productos cárnicos (Cheftel y Cheftel, 1976; Pearson y col., 1977) atribuido a varios mecanismos posibles, entre ellos el efecto del anión cloruro sobre la solubilidad del hierro (Kanner y col., 1991).

-Pigmentos.

Tradicionalmente la oxidación lipídica se ha atribuido a catalizadores hemínicos como hemoglobina, mioglobina y citocromos, que catalizan la descomposición de hidroperóxidos en radicales libres que pueden propagar el mecanismo (Gatellier y col., 1995).

g) Presencia de antioxidantes, como nitritos, aminoácidos, α -tocoferol, productos de la reacción de Maillard, etc.

1.3.2.3.5. Evolución de la autooxidación en el jamón curado

La evolución de la autooxidación en el jamón es consecuencia de los cambios que sufre a lo largo del procesado como son: el aumento de temperatura, la disminución de la actividad de agua, el aumento de la concentración de sal, la hidrólisis continua de los lípidos y el mayor contacto que se produce entre los ácidos grasos libres y las sustancias prooxidantes como consecuencia de la rotura de la estructura muscular. Como se ha mencionado anteriormente, todos estos factores favorecen la autooxidación.

Existen diversos métodos para seguir la oxidación lipídica, los cuales pueden determinar los compuestos primarios (hidroperóxidos o ácidos grasos poliinsaturados) derivados de las reacciones oxidativas o bien los compuestos secundarios. En el caso del jamón curado, los métodos más utilizados son el índice de peróxidos y el test del ácido tiobarbitúrico (TBA). El primero es una medida de los hidroperóxidos y el segundo de los compuestos finales, principalmente el malonaldehído. Ambos métodos tienen el inconveniente de que miden la concentración de unas sustancias que se forman y se transforman simultáneamente. Así pues su valor dependerá no solo de la cantidad que se genera sino también de la cantidad que se degrada.

Díaz (1993) estudió la evolución del índice del TBA en jamón curado y observó que los cambios más acusados se produjeron en el tejido muscular en el que los triacilglicéridos y en mayor medida los fosfolípidos sufrieron una degradación más intensa. En el salado se produjo una elevada formación relativa de compuestos volátiles a partir de peróxidos ya presentes, mientras

que en el reposo se oxidó de nuevo la grasa y se descompuso sólo una parte de los peróxidos. Esta mayor abundancia de peróxidos facilita que el TBA se doble del salado al reposo, posteriormente el índice de peróxidos disminuyó y el TBA se mantuvo, lo que indica una transformación de peróxidos en compuestos volátiles que de todos modos no es muy intensa. En la etapa de salado y cuando se incrementó la temperatura a 20°C es cuando se produjeron los mayores cambios en los ácidos grasos totales (Díaz, 1993).

Díaz (1993) obtuvo diferencias entre el músculo BF por un lado y el músculo SM y la grasa subcutánea por otro en la producción de aldehídos, sobre todo en el caso del hexanal y nonanal. Así en los dos últimos se pudieron distinguir dos etapas donde se forman en cantidades mayores: salado y primera etapa del secado. Ello refleja que la influencia de la entrada de la sal y posteriormente; el descenso en el postsalado y etapas finales se puede asociar con dos fenómenos: menor producción de peróxidos y/o degradación de aldehídos por oxidación o reacción con otros componentes. En el BF, en cambio, fue en la etapa intermedia del secado en la que se originaron mayores cantidades de hexanal. Este resultado muestra la importancia de la sal para desencadenar la autooxidación, así como la mayor accesibilidad del oxígeno en el músculo SM. El nonanal y 2, 4-decadienal mostraron un máximo relativo en el postsalado en el BF, lo que nos indica, en este punto, la oxidación de ácidos libres y/ fosfolípidos al haber llegado suficiente sal a este músculo. Estos resultados sugieren una relación entre la intensidad de la oxidación y la concentración de sal hasta que ésta alcanza un cierto grado de homogeneidad donde los fenómenos oxidativos dependen de la temperatura y las distintas velocidades de oxidación de los sustratos lipídicos (Díaz, 1993).

1.3.2.4 Cambios en la fracción proteica

Entendemos por músculo el conjunto de tejido muscular y adiposo que no permite su separación manual. El control y optimización de la conversión del músculo en carne tiene un gran interés para la industria cárnica. La glucólisis *post-mortem* y la tenderización por acción de los de enzimas proteolíticos (calpaínas, catepsinas) conduce a las características típicas de la carne.

1.3.2.4.1 Tipos de proteínas musculares

Las proteínas musculares se pueden dividir según su solubilidad en soluciones de diferente fuerza iónica en sarcoplasmáticas, miofibrilares y del tejido conjuntivo, que además se encuentran

Introducción

situadas en compartimentos celulares diferentes y forman parte de estructuras funcionalmente diferenciadas.

Las proteínas sarcoplasmáticas son moléculas de viscosidad elevada, solubles en agua o en soluciones salinas diluidas (<50mM) y suponen el 30-35 % de las proteínas del músculo esquelético de mamífero adulto. Constituyen un grupo diverso formado por más de 100 proteínas diferentes, entre las cuales se encuentran la mioglobina y la mayor parte de los enzimas involucrados en el metabolismo muscular y realizan funciones diferentes: síntesis y degradación proteica, oxidación de ácidos grasos, transporte electrónico y fosforilación oxidativa, glicolisis, gluconeogénesis, etc.

Las proteínas miofibrilares son solubles en soluciones salinas de elevada fuerza iónica (0,6M KCl) y no son solubles en condiciones fisiológicas. Constituyen entre el 50 y el 60 % de las proteínas totales y representan entre el 10 y el 11 % del peso del músculo. Se organizan en miofibrillas que ocupan aproximadamente el 75 % del volumen del músculo y constituyen la unidad estructural responsable de la contracción muscular, estando involucradas en el desarrollo del *rigor mortis*. A su vez las miofibrillas forman parte de la unidad estructural esencial del músculo: la fibra o célula del tejido muscular, las cuales están recubiertas por las proteínas que forman parte del tejido conectivo (Lawrie, 1991).

1.3.2.4.2. Hidrólisis proteica

En general, la integridad y estructura de las proteínas musculares se modifica durante el proceso de elaboración, mientras se observa una agregación de proteínas miofibrilares (Córdoba y col., 1994b), así como una importante modificación de su solubilidad y un notable incremento de las fracciones nitrogenadas de bajo peso molecular (péptidos, aminoácidos y, en menor medida, Nitrógeno básico volátil (NBV), que incluye aminas, amoníaco etc.), ocasionadas fundamentalmente por la influencia que la sal ejerce sobre la solubilidad proteica y las actividades proteolíticas que se detectan durante el proceso (Córdoba, 1994b; Hortós, 1995).

La proteólisis consiste en la degradación de las proteínas miofibrilares, colágenas y sarcoplásmicas por parte de diversas proteasas, como la catepsinas B, D y L, activas a pH ligeramente ácidos, las calpaínas I y II y la catepsina H activas a pH neutros y el proteasoma, activo a pH ligeramente alcalino. El resultado de la actuación de estas proteasas consiste en la pérdida de firmeza y en la generación de numerosos péptidos, procedentes en su mayoría de la mayor o menor rotura de las proteínas miofibrilares. (Valin y Ouali, 1992; Parolari y col, 1994;

Virgili y col., 1995a, 1995b). Los péptidos producto de la acción de las proteínasas, a su vez, se degradan por las peptidasas y aminopeptidasas por su extremo amino terminal, provocando un aumento en la cantidad de aminoácidos libres en el jamón curado (Toldrá y col., 1993a; McDonald y Barret (1986). La alanilaminopeptidasa parece ser la principal aminopeptidasa por su contribución al aumento de aminoácidos libres (Flores y col. 1996). La catepsina H también muestra actividad aminopeptidasa (Okitani y col., 1981). Las aminopeptidasas también están presentes en el tejido adiposo (Toldrá y col., 1992c).

Toldrá y Flores (1998) hacen un excelente resumen de la evolución de la actividad de las enzimas del jamón serrano a lo largo del proceso y de los efectos de las diferentes variables sobre las mismas. La actividad de calpaínas se detecta únicamente hasta la etapa de postsalado, fundamentalmente en el pernil fresco (Sárraga, 1992b; Sárraga y col, 1993), ya que son enzimas muy inestables. En general, excepto la D, las catepsinas continúan activas hasta final del proceso, si bien se produce un descenso importante de su actividad. En jamón italiano, Schivazappa y col (1998) hallaron una correlación ($r=0,7$) entre la actividad de la catepsina B en la carne fresca y la que tenía tras 13 meses de procesado y Virgili y col., (1995b, 1998) encontraron que la actividad de la enzima B se había reducido al 60 % tras 6 meses y al 40 % tras 12.

La actividad enzimática sobre las proteínas del jamón, además de por factores externos, también está influida por factores relativos a la materia prima, como la raza y edad del cerdo (Parolari y col., 1988; Sárraga y col., 1993; Flores y col., 1994; Toldrá y col., 1996; Armero y col., 1999a, 1999b, 1999c), tipo de músculo (Flores y col., 1996b; Aristoy y Toldrá, 1998) y la calidad de la carne (Tabilo y col., 1999; Moya y col., 2001).

Por lo que se refiere a los factores externos, la actividad de las catepsinas se ve afectada por el grado de secado, la temperatura, la concentración de sal y el pH. El descenso de la actividad de agua que se produce durante el secado del jamón, provoca una disminución de la actividad de las catepsinas, especialmente cuando baja de 0,84 (Toldrá y col., 1992). Virgili y col. (1995b) registraron cambios más ligeros de la actividad de la catepsina B en el músculo SM que en el BF, debido a su mayor grado de secado. Estos mismos autores también observaron un aumento de la actividad enzimática durante el secado y la atribuyeron a la degradación de la cistatina, que es un inhibidor endógeno.

La temperatura óptima de actividad de la catepsina B es de 30°C y para las catepsinas H y L es de 37°C (Toldrá y Etherington, 1988). En jamón italiano, Virgili y col. (1995b) obtuvieron un aumento mayor del NNP entre los días 90 y 120 y días debido a un aumento de la actividad enzimática originado por el incremento de temperatura. Parreño y col. (1994) observaron que, tras

Introducción

4 meses de secado, la actividad de las catepsinas B+L era mayor y la del inhibidor cistatina menor en los jamones madurados a una temperatura de 10-24 ° C que en aquellos secados a unas temperaturas de 10-14° C.

Respecto a la influencia de la sal sobre las catepsinas, por un lado tiene efecto estabilizador sobre las actividades enzimáticas (Toldrá y Etherington, 1988; Arnau y col., 1998; Gil y col., 1999), pero por otro la sal inhibe la acción de las enzimas, como se ha comprobado en estudios *in vitro* (Sárraga y col., 1989; Rico y col., 1990). La catepsina D se inhibe en gran medida por la sal durante la maduración (Rico y col., 1990), sin embargo las catepsinas B y L parece que están menos inhibidas por la sal, encontrándose actividades del 70-80% a concentraciones de entre 4-5% de cloruro sódico (Rico y col., 1991).

Arnau y col. (1998), al comparar jamones con pH bajo y alto (carne DFD), hallaron que éstos últimos registraron una menor actividad de las catepsinas D, B y B+L. Asimismo, la mioglobina también tiene cierto efecto inhibidor sobre las catepsinas (Rosell y col., 1996).

El descenso de la actividad de agua que se produce durante el secado del jamón, provoca una disminución de la actividad de las catepsinas (Toldrá y col., 1992a). Toldrá y col. (1992c) observaron que tienen una actividad máxima a pH neutro y a una temperatura de 37°C y conservan entre el 25 y el 75 % de su actividad en jamones elaborados con un proceso de siete meses de maduración, tanto en el tejido muscular como en la grasa. Rodríguez y col., (1995) hallaron que la hidrólisis de péptidos continuaba hasta los 15 meses de procesado del jamón. Al dividir las fracciones de péptidos por su peso molecular observaron que la concentración de cada fracción variaba de manera diferente. Virgili y col, (1998) observaron que la actividad residual de alanilaminopeptidasa y arginilaminopeptidasa en jamones italianos era del 30 y 50 % respectivamente y la de dipeptilpeptidasa I y II del 10 y 30 % respectivamente. Según Toldrá y col. (2000) la estabilidad de estas dos enzimas ponen de relieve la importancia que podrían tener en la generación de aminoácidos libres durante el secado del jamón curado español. Respecto al efecto de la sal sobre la actividad de las aminopeptidasas, se ha visto que concentraciones de sal típicas del jamón curado (0,75-1M) originan una inhibición de la actividad de las aminopeptidasas, a excepción de la aminopeptidasa B, llegándose a encontrar sólo entre el 5 y el 40 % de su actividad (Toldrá y col., 1993a, 1993b; Toldrá y Flores, 1998). Las aminopeptidasas son también ligeramente inhibidas por el ácido ascórbico (Toldrá y Flores, 1998), parcialmente inhibidas por la mioglobina (Rosell y col., 1996). También se produce una retroinhibición por acumulación de aminoácidos libres (Flores y col., 1998).

1.3.2.4.3 Degradación de aminoácidos

Una de las vías de degradación de aminoácidos, conduce, por descarboxilación, a la formación de aminas. Las aminas que se encuentran en los embutidos crudos curados son histamina, tiramina, putrescina y cadaverina que provienen de los aminoácidos histidina, tirosina, ornitina (que se produce por escisión de arginina) y lisina, respectivamente (Vandekerckhove, 1977), siendo su origen fundamentalmente microbiológico. Flores y col. (1996a) mostraron que algunas de estas aminas, como cadaverina y putrescina, poseen actividad inhibitoria sobre determinadas aminopeptidasas (aminopeptidasa B y alanil aminopeptidasa), que podrían inhibir la generación de aminoácidos libres durante el procesado de los productos curados. La formación de aminas es especialmente importante en embutidos, estando muy influida por los cultivos iniciadores que se utilicen en la maduración y por la temperatura de fermentación (Maijala y col., 1995a, 1995b). En este sentido, se han llegado a apreciar en embutidos de 27 días de maduración tasas que oscilan entre 10-20 mg/100g (Maijala y col, 1995b), a diferencia de las cantidades que se alcanzan en el jamón ibérico, donde la formación de aminas es escasa y no supera los 4 mg/100g de extracto seco al final del procesado (Córdoba, 1994a).

Por otro lado, la desaminación de los aminoácidos da lugar a amoniaco, que entra a formar parte junto con las aminas, del nitrógeno básico volátil (NBV). Al amoniaco se le atribuye un efecto desfavorable por estar asociado con fenómenos de putrefacción, por lo que su desarrollo, en general, se considera indeseable. Normalmente, el NBV está por debajo del 6 % del NNP al final de la maduración del jamón (Córdoba y col., 1994a; Hortós, 1995). Además, en la desaminación de los aminoácidos se libera un α -cetoácido que puede participar en la formación de otros compuestos aromáticos.

Reacciones de Maillard y de Strecker

La reacción de Maillard es una de las principales rutas de formación del aroma de la carne y productos cárnicos. Consiste, básicamente, en la reacción de un compuesto con grupo amino libre (proteína, péptido, amina o fundamentalmente aminoácido), con un compuesto con un grupo carbonilo. Son reacciones muy complejas, incluyendo condensación, deshidratación, reordenación y degradación para formar furanos, furfural y derivados, aldehidos, dicarbonilos, cetonas, etc. A su vez, se pueden producir nuevas reacciones entre sí o con compuestos carbonilo de origen

Introducción

lipídico para generar numerosos compuestos volátiles (reacciones secundarias) (Toldrá, 1998a, 1998b). La reacción de Maillard ocurre a cualquier temperatura, pero sucede más rápidamente a altas temperaturas (Walstra, 1984). Su intensidad es máxima a actividades de agua entre 0,5 y 0,7 (O'Brien and Morrissey, 1989), valores que se pueden encontrar en la superficie del jamón (Arnau y col, 2003a). Así pues, en el jamón se encuentran productos de la reacción de Maillard, como pirazinas (Flores y col, 1997c) aunque las temperaturas normalmente no superen los 35 ° C. Córdoba y col. (1994a) atribuyeron el hecho de que se observase un incremento de la concentración de algunos aminoácidos libres menor del esperado a la gran capacidad de reacción de estos aminoácidos con compuestos reductores (como los aldehídos presentes en el jamón) y a su participación en la reacción de Maillard y en la degradación de Strecker.

Las reacciones de Strecker constituyen una ruta de formación de compuestos volátiles y comprenden reacciones de desaminación oxidativa y descarboxilación de un aminoácido en presencia de un compuesto dicarbonílico. El resultado de esta acción es un aldehído, con un átomo de carbono menos que el aminoácido del que proviene y que presenta características aromáticas. Ventanas y col., (1992) y Flores y col. (1997c) postulan que los aldehídos con grupos metilo que se encuentran en el jamón curado se forman por medio de la degradación de Strecker a pesar de la ausencia de un tratamiento térmico ya que el pH y el alto contenido en aminoácidos libres del jamón, así como la baja humedad y el tiempo largo de curación empleado en la producción de los mismos facilitan esta reacción. De hecho, la presencia de compuestos sulfurados producto de la degradación de Strecker a partir de aminoácidos azufrados, se detecta en alimentos ricos en proteínas no sometidos a tratamiento térmico cuando se almacenan durante un periodo prolongado de tiempo (Belitz y Grosch, 1988).

1.3.2.4.4. Evolución de las fracciones nitrogenadas

La evolución temporal de los cambios en las proteínas anteriormente mencionados se puede estudiar utilizando diferentes parámetros: nitrógeno no proteico (NNP), índice de proteolisis (IP) ($100 \times \text{NNP} / \text{Nitrógeno total}$), nitrógeno peptídico (Npep), separación de péptidos y su cuantificación, nitrógeno aminoacídico (NAA), concentración de diferentes aminoácidos, nitrógeno básico volátil (NBV), aminas biógenas, etc. Para interpretar estos resultados, hay que tener en cuenta que la mayor parte de estos índices se basan en compuestos que a la vez que se forman también se degradan.

Uno de los más utilizados es el índice de proteólisis, basado en el nitrógeno no proteico. El NNP incluye péptidos de diferentes tamaños, aminoácidos y compuestos de degradación de éstos, siendo el NBV un indicador de esta degradación (Hortós, 1995). El índice de proteólisis se puede tomar como índice del grado de proteólisis general. Así, Schivazappa (1998) halló una correlación entre el índice de proteólisis del producto terminado y la actividad de la catepsina B en la carne fresca y la que tenía tras 13 meses de procesado, ($r=0,48$ y $0,52$ respectivamente) y Virgili y col. (1995b) observaron una relación entre la evolución de esta enzima y la del nitrógeno no proteico. El IP en general, está entre valores de 8 y 12 en los jamones frescos y posteriormente experimenta un notable incremento durante la curación, sobre todo en los primeros meses de procesado, llegando a alcanzar valores entre 25 y 30 en el músculo *biceps femoris*. (Flores y col., 1984; Astiasarán y col., 1989; Hortós, 1995).

El gráfico 1.3.1 muestra la evolución de algunas de las fracciones nitrogenadas anteriormente mencionadas durante la etapa de secado de un jamón serrano en cuyo procesado se usaron temperaturas en continuo incremento de 10 a 30°C (Hortós, 1995). Se ha escogido el músculo BF, el cual desarrolló una mayor proteólisis.

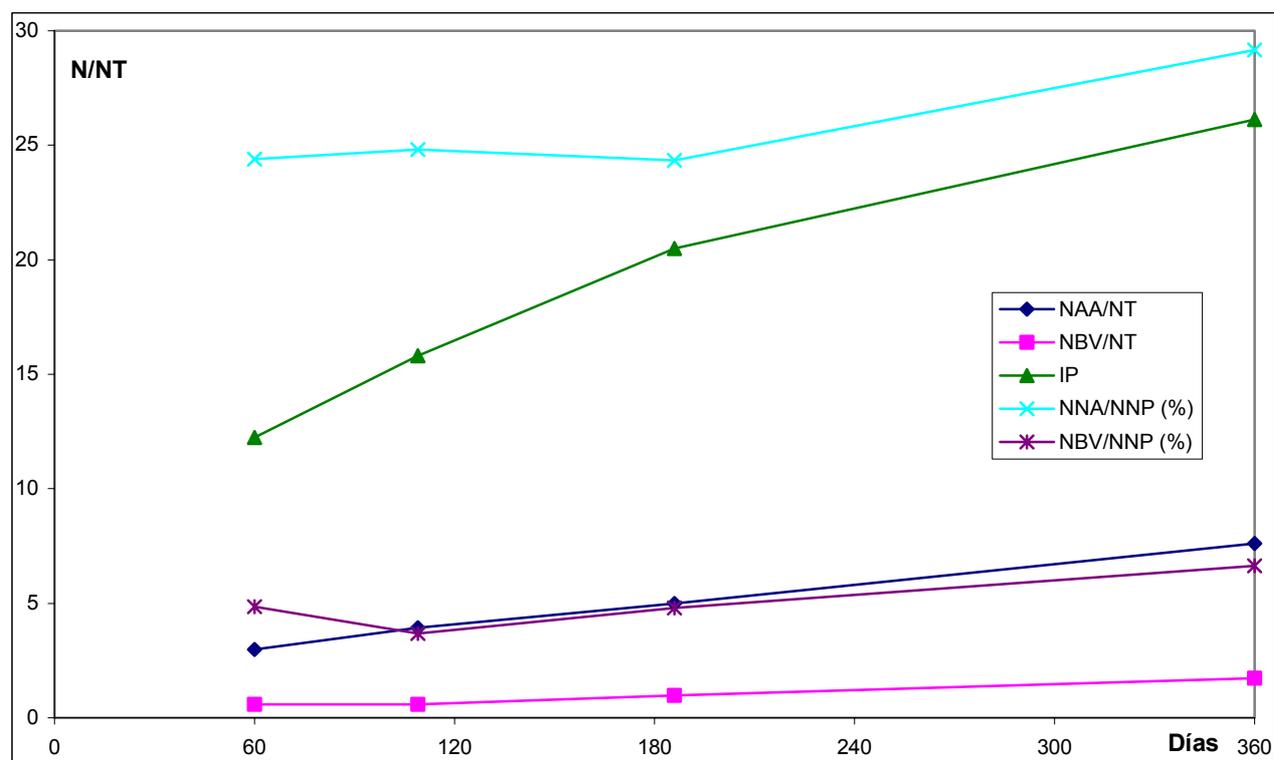


Gráfico 1.3.1. Evolución de varias fracciones nitrogenadas a lo largo del procesado de jamón curado de cerdo blanco

Introducción

En la evolución del NNP hay que tener en cuenta que el progresivo aumento de la temperatura tiene dos efectos contrapuestos. Por un lado origina un aumento de la actividad enzimática, al aproximarse a la temperatura óptima de los enzimas, pero por otro lado, provoca una desecación, que va inhibiendo su acción. Wang (2001) en jamones envasados en N₂, y que por tanto no perdían humedad, observó que la evolución del NNP era bastante lineal durante 5 meses a 15° C.

Martín y col., (1998b) estudiaron la evolución de las diferentes fracciones de nitrógeno no proteico: nitrógeno aminocídico y nitrógeno peptídico en músculos BF y SM de jamón ibérico y halló incrementos importantes durante el reposo y, sobre todo durante el secado en ambos músculos, aunque la mayor proteólisis se registró en el BF. Durante la etapa de bodega, el NNP aumentó de manera menos pronunciada.

En general, en las primeras etapas se generan tanto péptidos como aminoácidos libres, probablemente debido al equilibrio que se establece entre la formación de fragmentos de alto peso molecular y las reacciones hidrolíticas que dan aminoácidos. El incremento de temperatura y la desecación progresiva parece desfavorecer más la generación de péptidos que su hidrólisis y por tanto la relación NNA/NNP aumenta de manera importante en la segunda mitad del secado (Hortós, 1995) con lo cual los aminoácidos pueden llegar a sustituir a los péptidos como principal fracción dentro del nitrógeno no proteico, como se ha visto en jamón ibérico (Ventanas y col., 1992; Martín y col., 1998a, 1998b) e italiano (Virgili y col., 1995b; Shivazappa y col., 1995). Por el contrario, en jamones franceses, Buscailhon y col., (1994c) observaron, entre los días 179 y 273 de procesado, un aumento del nitrógeno no proteico y una disminución de la concentración de aminoácidos libres. El comportamiento de los péptidos en las etapas finales es muy variable. Flores y col., (1997a) hallaron que entre los 7 y 12 meses de curación la concentración de algunos péptidos aumentaba pero la de otros disminuía, ya que su degradación en fracciones más pequeñas era mayor que su formación y Hansen-Møller y col., (1997) observaron que, tras 365 días de procesado en jamón de Parma, aparecían péptidos que no se habían detectado en fases anteriores. Toldrá y col. (2000) observaron que el ritmo de acumulación de aminoácidos libres fue mayor al inicio del secado debido a la acción de la alanilaminopeptidasa, y descendió a partir de los dos primeros tercios del secado.

1.3.3. INFLUENCIA DE LOS CAMBIOS BIOQUÍMICOS EN LA CALIDAD SENSORIAL DEL JAMÓN

1.3.3.1 Efectos sobre la textura y aspecto

La textura es un factor importante en el proceso de selección y consumo de alimentos (Moskowitz y Jacobs, 1987; Szczesniak y Kley, 1963). En la carne cruda, las propiedades de textura como ternura y jugosidad son muy importantes en la percepción de calidad del consumidor (Szczesniak, 1990), siendo factores que afectan de modo decisivo su aceptabilidad. La calidad del jamón curado está determinada en parte por sus propiedades texturales y mecánicas, las cuales son determinadas principalmente por las características de la materia prima y los parámetros tecnológicos.

Uno de los parámetros relacionados con la materia prima que afecta a la textura es la cantidad de grasa intramuscular y la humedad. Cuanto mayores son ambos parámetros, más blando es el jamón (Parolari y col., 1988; Schivazappa y col., 1998; Tabilo y col., 1999; Ruiz-Carrascal y col., 2000). La grasa intramuscular, además, influye sobre propiedades organolépticas como la jugosidad, brillo, aceitosidad, sequedad y fibrosidad (Ruiz-Carrascal y col., 2000). Se han hallado diferencias en textura y aspecto entre líneas genéticas diferentes (Oliver y col., 1994; Gou y col., 1995; Guerrero y col., 1996; Schivazappa y col., 1998) y entre diferentes calidades de carne (Tabilo y col., 1999). Asimismo, el tamaño del jamón también influye en su textura al afectar al grado de secado (Schivazappa y col., 1998).

La ternura se trata de una característica directamente relacionada con la estructura muscular, es decir, con las proteínas miofibrilares, que forman parte integral de la estructura de la fibra muscular y el colágeno. El largo procesamiento del jamón curado (hasta 24 meses) permite una acción más intensa de las proteasas musculares, y resulta en una extensa ruptura de las proteínas (Flores y col., 1984; Astiasarán y col., 1988; Toldrá, 1992; Toldrá y col., 1992a, 1993a) y cambios estructurales marcados, los cuales son más acentuados durante los primeros meses del proceso (Monin y col., 1997).

Cuanto más hidrolizadas se encuentren las proteínas miofibrilares responsables de la estructura muscular, más blando será el jamón curado. Un exceso de proteólisis también produce una textura blanda o pastosa, lo cual hace más difícil el proceso de loncheado y produce una sensación desagradable de película en el paladar (Arnau, 1991). Aspectos tales como la humedad y el NNP se han relacionado con una textura blanda y pastosa en jamón curado (Virgili y col.,

Introducción

1995a; Guerrero y col., 1996; Parolari, 1996; García-Garrido y col., 1999). Como ejemplo, El Consorcio de Jamón de Parma ha establecidos límites superiores para estos dos parámetros (63,5 y 31 % respectivamente) para evitar su efecto negativo sobre el producto final (Parolari, 1996) y el pliego de condiciones de la Especialidad Tradicional Garantizada (ETG) del jamón serrano impone un mínimo de un 33 % en la merma del jamón y un contenido máximo de humedad en producto desengrasado del 57 % (Comunidad Europea, 1999). La relación sal/agua baja también favorece una textura blanda (Parolari y col, 1988; Virgili y col., 1995a). Virgili y col., (1995a) obtuvieron una correlación entre la dureza del jamón y la actividad de la catepsina B del pernil, y se ha sugerido controlar el potencial proteolítico de la materia prima como forma de evitar la producción de jamones con texturas defectuosas (Parolari y col., 1994; Virgili y col., 1995a). Sin embargo, García-Garrido y col, (2002) hallaron una escasa utilidad de los valores de la actividad catepsina B y B+L en materia prima para discriminar entre jamones sin y con textura pastosa, mientras que la determinación de los parámetros NNP y % NaCl se mostró eficaz para detectar este tipo de texturas. Los péptidos de 150 y 85 Kda también podrían ser valiosos como índices para una óptima textura, ya que su degradación se ha asociado con una textura excesivamente blanda como consecuencia de una proteolisis excesiva (Tabilo y col., 1999).

La hidrólisis proteica no es la única responsable de los cambios en la textura del jamón. Arnau y col., (1997) y Guerrero y col., (1999) hallaron valores superiores de brillo, desmenuzabilidad, pastosidad, adhesividad y menor dureza en jamones con pH alto (carne DFD) a pesar de tener un contenido en NNP más bajo y una menor actividad de las catepsinas D, B y B+L. Las diferencias en la pastosidad se atribuyeron a un mayor grado de extractibilidad y funcionalidad (mayor capacidad de retención de agua, solubilidad y viscosidad) y el mayor brillo a un mayor nivel de humedad de las proteínas de la carne de alto pH. La pastosidad no se correlacionó con el nitrógeno no proteico, aunque sí con el contenido acuoso. La dinámica del secado también influye de manera importante en la textura del jamón. Así, si el secado ha sido excesivamente rápido, se obtiene una gran dureza especialmente en la zona externa y blandura en la zona interna del jamón (Arnau , 1998).

Respecto a la influencia de los cambios bioquímicos sobre el aspecto del jamón, el color del jamón y su percepción visual está influenciado por la concentración de mioglobina, su nitrificación, oxidación y desnaturalización (Buscailhon y col., 1995) y la cantidad de grasa intramuscular (Rovira y col., 1996). Asimismo, el grado de proteolisis se ha ligado con la incidencia del velo blanco y los cristales de tirosina (Arnau y col., 1987a, 1987c; Virgili y col., 1995a; Arnau y col. 1996; Virgili y col., 1998; Butz y col., 1974), los cuales pueden afectar

negativamente a la apariencia del jamón. Guerrero y col., (1996) también hallaron una correlación entre el nitrógeno no proteico, la concentración de tirosina y el brillo.

1.3.3.2. Efectos sobre el flavor

El flavor característico de la carne fresca, productos cárnicos fermentados o jamón curado es un sutil equilibrio entre compuestos no volátiles con propiedades sápidas y volátiles, que interaccionan tanto entre ellos como con proteínas y lípidos. Los sabores que distinguen a los productos cárnicos están asociados con variaciones en el tipo de estos diversos componentes y un desequilibrio entre ellos podría generar sabores indeseables (Montel y col. 1998).

La duración del periodo de curado es importante para para la consecución de las características típicas del jamón. Flores y col., (1997a) hallaron que el flavor típico de jamón curado no se había desarrollado tras 7 meses de procesado. Todos los descriptores, incluidos aquellos relacionados con sabores desagradables eran superiores a los 12 meses que a los 7 y estos autores concluyeron que es entre estos dos puntos cuando se desarrollan los atributos que definen los sabores a carne de cerdo curada, y cuando el flavor es óptimo. Mediante el análisis de los compuestos volátiles, se observó que durante el periodo transcurrido entre ambos puntos del secado se enmascaraba el aroma agradable del jamón, al disminuir la concentración de volátiles con aroma agradable (Flores y col., 1997c). Roncalés y col., (2003) estudiaron la aceptabilidad de jamones serranos con diferentes periodos de curado maduración y observaron que los jamones con 20 meses de secado obtuvieron la calificación más alta, mientras que los de 22 y 24 meses de curado obtuvieron las puntuaciones más bajas. Flores y col., (1984) comprobaron que en un proceso rápido, los jamones desarrollaron antes sus características sensoriales típicas, pero al cabo de 12 meses de procesado perdieron sensiblemente su calidad como consecuencia del deterioro del sabor y de un endurecimiento excesivo que conlleva una pérdida de jugosidad. Además, no encontraron una relación entre el índice de proteólisis y la calidad sensorial del jamón. Esto parece indicar que existe un periodo óptimo para el desarrollo de las características sensoriales, el cual se alcanza más pronto cuanto mayor es la temperatura de secado. Buscailhon y col., (1994a) hallaron que entre los 179 y los 273 días de proceso, la intensidad de los aromas a grasa y a carne fresca disminuía, mientras aumentaba la de los descriptores aroma de jamón curado y aroma de carne curada, firmeza y sequedad.

Introducción

Los componentes sápidos y aromáticos del jamón curado provienen principalmente de la degradación de lípidos y proteínas y estos procesos están ligados principalmente a la actividad de enzimas endógenos y a reacciones químicas dependientes de la composición de la materia prima y del proceso tecnológico.

1.3.3.2.1 Sustancias volátiles

El aroma típico del jamón se relaciona principalmente con la generación de una serie de sustancias volátiles durante el procesado del jamón curado, especialmente en las últimas etapas (Buscailhon y col., 1993, 1994; Careri y col., 1993; Flores y col., 1997c). La mayor parte de estos compuestos volátiles son resultado de oxidación de ácidos grasos insaturados, productos de degradación de aminoácidos, productos de la reacción de Maillard e interacciones entre ellos o con proteínas, péptidos y aminoácidos libres. Así, los aldehídos provenientes de la oxidación lipídica pueden reaccionar con aminoácidos y favorecer la reacción de Maillard (Hodge, 1953; Zhang y col., 1994). Mastrocola y col., (2000) observaron, en un sistema modelo que contenía glucosa y lisina, que la adición de aceite de soja provocaba una disminución en el valor L^* debido a la participación de productos intermedios de oxidación del aceite en la reacción de Maillard. Los hidroperóxidos pueden reaccionar con proteínas y aminoácidos a través de reacciones con los radicales libres lipídicos, hidroperóxidos y productos secundarios no radicales (Drumm y Spainier, 1991). Asimismo, en la oxidación lipídica se producen compuestos como dicetonas que pueden ser sustratos de la degradación de Strecker.

En la literatura se han registrado un número importante de diferentes compuestos volátiles en jamón serrano (Díaz, 1993; Flores y col., 1997c), jamón ibérico (García y col., 1991; Sabio y col., 1995; Timón y col., 1998; Ruiz y col., 1999), jamones de Parma (Barbieri y col., 1992; Hinrichsen y Pedersen, 1995; Bolzoni y col., 1996), jamones curados franceses (Berdagué y col., 1991; Berdagué y col., 1993a; Buscailhon y col., 1993) jamones americanos (“country style”) (Ockerman y col., 1964; Lillard y Ayres, 1969), jamones de varios tipos (Dirinck y col., 1997; Sabio y col., 1997). Hoy en día, se han detectado más de 260 compuestos volátiles en jamón curado (Flores y col., 1997c), que se pueden clasificar en:

a) Aldehídos no ramificados: Proviene de la oxidación de ácidos grasos. Tienen gran impacto en el flavor debido a su bajo umbral en comparación con los hidrocarburos, cetonas y alcoholes (Forss, 1972). Son diferentes dependiendo del ácido graso precursor. Los olores se han descrito como acre, acerbo, almendra amarga, hierba, manzana, pintura, aceitoso, jabón, afrutado,

grasa, frutos secos, seboso, pepino, piel de naranja, frito (Forss, 1972; Shahidi y col., 1986). El aroma de los aldehidos encontrados en jamón serrano se han descrito como queso, hierba, grasa, aceite, sebo (Berdagué y col., 1991; Flores y col., 1997c).

b) aldehidos aromáticos y ramificados formados por la desaminación y descarboxilación oxidativa (degradación de Strecker) de aminoácidos (leucina, isoleucina, valina, fenilalanina, metionina) como el fenilacetaldehido, 2-metil propanal, 2-metil butanal, 3-metil butanal. Este último aporta notas de queso/malta, rancio, pungente (Berdagué y col., 1991; Andersen y Hinrichsen 1995; Flores y col., 1997c) y se le ha atribuido también un origen microbiano en jamón de Parma (Andersen y Hinrichsen 1995) y en salchichón. El fenilacetaldehido aporta un flavor floral característico (Berdagué y col., 1991; Arnau, 2000).

c) cetonas, provenientes fundamentalmente de la oxidación lipídica. Sus aromas se describen como mantequilla, queso, hierba, queso. Las metilcetonas pueden provenir de la β -oxidation de ácidos grasos libres seguida de la descarboxilación del β -ceto ácido (Belitz and Grosch, 1988). Algunas como el diacetilo (2,3-butadiona) y la acetoína (3-hidroxi-2-butanona) podrían provenir del metabolismo del piruvato por parte de algunos cocos GC+ y aportan aromas a mantequilla (Berdagué y col., 1993b).

d) Hidrocarburos. Tienen su origen en la oxidación lipídica. Tienen un alto umbral de percepción y su contribución al flavor no parece ser importante (Min y col., 1979; Frankel, 1985)

e) γ -lactonas, procedentes de deshidratación y ciclación de γ -hidroxiácidos grasos, que son normales en triglicéridos (Forss, 1972). Son compuestos muy aromáticos y aportan notas de grasa, crema, afrutado, coco, almizcle (Baines y Mlotkiewicz, 1984; Berdagué y col., 1991; Dirinck y col., 1997).

f) alcoholes. Proviene a partir de la descomposición de hidroperóxidos y por reducción de aldehidos. Algunos de cadena corta podrían venir de los aldehidos de Strecker. Tienen aroma a hierba, madera, graso, ácido, floral, plátano, tostado, verde, afrutado. (Forss, 1972; Shahidi, 1986). En jamón algunos se han descrito como cebolla-tostado, verde, patata-trigo, graso, cera, almizcle (Berdagué y col., 1991; Flores y col., 1997c). Los alcoholes ramificados suelen tener olores desagrables (Sabio y col., 1995). El 1-octen-3-ol aporta una nota a champiñón y podría ser producido por los hongos del jamón (García y col, 1991).

g) Ésteres: Son el resultado de la esterificación de alcoholes y ácidos carboxílicos probablemente por acción de la población microbiana presente en el jamón. Aportan notas afrutadas en carne de cerdo (Forss y col., 1972; Baines y Mlotkiewicz, 1984; Shahidi y col., 1986). La formación de ésteres originados por la adición de *S. xylosus* en salchichón se ha atribuido a una

Introducción

oxidación de aldehído a ácido (por enzimas tisulares o microbianos) y posterior esterificación con etanol por parte de este microorganismo. (Stahnke, 1994). En jamón aportan notas dulce-caramelo, carne cocida (Flores y col., 1997c) y afrutado (Berdagué y col., 1991).

h) Hidrocarburos aromáticos: como *o*-xileno y *p*-xileno con olores dulce y frutal respectivamente y en jamón curado definidos respectivamente como dulce-caramelo y ahumado-fenólico (Flores y col., 1997c), benceno y tolueno. Pueden proceder de la alimentación del cerdo (Buscailhon y col., 1993).

i) Ácidos grasos. Los de cadena corta son volátiles y su aroma son análogos al de algunos quesos. Pueden provenir de la fermentación de azúcares, aminoácidos o por oxidación de aldehídos (Stahnke, 1995b). Los de cadena larga no tienen olor.

j) Otros: presentes en menor medida pero con un bajo umbral de detección: compuestos sulfurados (dimetil disulfuro, dimetil trisulfuro y dimetil tetrasulfuro) que tienen su origen en la degradación de Strecker a partir de aminoácidos; pirazinas que provienen a partir de reacciones de Maillard o de reacciones entre el amoníaco y aldehídos (Baines y Mlotkiewicz, 1983) que aportan aromas a fruto seco y tostado (Barbieri y col., 1992; Flores y col., 1997c); furanos (Etil furano, 2-Metil furano, 2-Pentil furano) que proceden de la oxidación lipídica y de la reacción de Maillard y tienen aromas a carne asada (Flores y col., 1997), metálico, quemado, (Anónimo, 2003) etc.; compuestos tales como derivados del benceno, aminas y amidas, etc.

Los diferentes tipos de jamón curado (serrano, ibérico, Parma, Bayona, etc) son productos con sabores completamente diferentes y dependientes del procesado y de condiciones asociadas con el lugar geográfico y/o tradiciones del país (Flores y Toldrá, 1993). Mediante el análisis de componentes principales, Berdagué y col (1993a) obtuvieron dos grupos de volátiles diferenciados: uno tenía un origen en la oxidación lipídica y el otro en las reacciones a partir de aminoácidos. Según estos autores, diferencias en la materia prima o en la tecnología puede dar lugar a una diferente proporción de los compuestos volátiles provenientes de estas dos vías.

Los sabores de estos jamones no pueden ser adscritos a unos pocos compuestos, sino que parece depender de un número importante de volátiles (Barbieri, 1992), si bien hay algunos tipos de jamones con contenidos de ciertos compuestos que los caracterizan. El sabor proveniente de la oxidación lipídica es característico del jamón español (Dirinck y col., 1997; Sabio y col., 1997), mientras que en el jamón de Parma, los volátiles provenientes de la oxidación lipídica son poco importantes, y no se correlacionan con el desarrollo del aroma (Hinrichsen y Pedersen, 1995) siendo más importantes los ésteres, los aldehídos de cadena ramificada y las lactonas (Barbieri y

col., 1992; Hinrichsen y Pedersen, 1995; Bolzoni y col. 1995). Sabio y col., (1997) observaron que los jamones ibéricos, probablemente debido a la mayor temperatura alcanzada durante el curado y a su mayor contenido en grasa intramuscular, tenían una mayor concentración de volátiles que los jamones de Parma y Bayona, estando los jamones serranos en una posición intermedia. Se ha encontrado un nivel importante de furanos (1,5 % del área total del cromatograma) en jamones ibéricos que podrían contribuir al sabor típico de estos jamones por su olor a carne cocida o tostada (Ruiz y col., 1999). Dirinck y col., (1997) observaron que los jamones noreuropeos salados en salmuera y con menor tiempo de curación poseían un contenido en volátiles inferior al de los jamones serranos y los jamones de Parma. Los jamones franceses se caracterizan por su alto contenido en cetonas (Buscailhon y col., 1993, 1994; Berdague y col., 1993a).

Varios estudios han tratado de demostrar la relación entre los datos químicos y el flavor del jamón curado italiano para intentar descubrir los compuestos responsable del aroma característico del jamón (Careri y col., 1993; Virgili y col., 1995b; Hinrichsen y Pedersen, 1995), en jamón francés (Berdagué y col., 1993a; Buscailhon y col., 1994) y en jamón español (Motilva y col., 1994; Flores y col., 1997c; Ruiz y col., 1999). Para ello, normalmente se separan los volátiles por cromatografía y se huelen individualmente o se intenta, mediante análisis estadístico, (análisis factorial, correlación, etc.) establecer relaciones entre volátiles individuales o grupos de volátiles y determinados descriptores del análisis sensorial del jamón. Este procedimiento presenta varias dificultades. Por un lado, como se ha mencionado, el flavor del jamón no parece adscribirse a unos pocos compuestos, sino que parece depender de un número importante de volátiles. Por otro lado, los atributos sensoriales utilizados para describir el flavor del jamón a veces no están bien definidos, usándose términos tales como flavor curado, sabor madurado, aroma típico de jamón, que son muy subjetivos dependiendo del origen del jamón. Un problema añadido es la presencia de ciertos compuestos no identificados con concentraciones y umbral de detección bajos, alguno de los cuales ha mostrado un aroma similar a alguna nota presente en el aroma característico del jamón (Berdagué y col., 1993a; Barbieri y col., 1992; Flores y col., 1997c). Asimismo el uso de una diferente metodología en el análisis de los volátiles puede dar lugar a diferentes concentraciones o incluso a que unos volátiles sean detectados en unos casos y en otros no (Dirinck y col, 1997; Timón y col., 1998)

Flores y col., (1997c) estudiaron los volátiles del jamón a los 7 y 12 meses de procesado y concluyeron que 3-metilbutanal, (aroma queso-hierba), 1-penten-3-ol (cebolla-tostado), hexanal (verde-graso) y dimetilsulfuro (olor a pies) se relacionaron con el proceso corto mientras que el proceso largo se caracterizaba por contenidos superiores en 1-penten-3-ol y 1-octeno. El proceso

Introducción

largo a su vez conllevó una disminución de compuestos con aroma agradable (cetonas, ésteres, hidrocarburos aromáticos y pirazinas) y un aumento del flavor curado (definido por los atributos ácido, astringente y amargo), del flavor desagradable (relacionado con el olor sexual, sabor salado y aromas de ácidos grasos libres) y del flavor a cerdo (constituido por aromas asociados a productos grasos y a carne de cerdo cocinada). Además hubo una cierta correlación entre este último y el 2-butoxyethanol y 2-pentilfurano. Ruiz y col., (1999) hallaron un aumento de las concentraciones de 2 y 3-metil-butanal y 4-propil-2-metil-furano, así como una reducción de productos de la oxidación lipídica, (como aldehidos alifáticos, hidrocarburos de cadena lineal y ramificada, 2-heptenal), tolueno, acetato de butilo, 2-3 octanediona, dimetil y trimetil sulfuro entre los 420 y 600 días de procesado de jamón ibérico. Estos cambios coincidieron con puntuaciones menores del descriptor “rancio” y mayores de los descriptores “olor a jamón de bellota”, intensidad de olor, flavor curado y retrogusto en los jamones con 600 días de curación. Estos resultados coinciden con los hallados por Hinrichsen y Pedersen, (1995) en jamón de Parma, en los que la producción de volátiles se dividió en dos etapas: una primera etapa que incluye salado, reposo e inicio de secado, en la que se forman productos de oxidación y una segunda etapa posterior en la cual se producen reacciones más complejas, que incluye la formación de ésteres y compuestos con ramificaciones metilo, así como una disminución de los n-aldehidos, quizás por participación de éstos en reacciones Maillard (Hinrichsen y Pedersen, 1995; Ventanas y col., 1992). Entre los 365 y 485 días se produce una disminución de los atributos queso, salado y fruto seco y un aumento de rancio y grasoso. Los aldehidos con ramificaciones metilo, alcoholes secundarios, metil cetonas, ésteres de etilo y dimetil trisulfuro se correlacionaron con los descriptores atributos queso, salado y fruto seco, considerados por los autores como típicos del sabor del jamón de Parma. Bolzoni y col., (1995) observaron que la concentración de ésteres de etilo, 3-metilbutanal y alcoholes como 1-propanol, 1-butoxy-2-propanol y 2-butanol era superior a los 12 meses de procesado y podía servir para discriminar los jamones según el tiempo de procesado

Careri y col., (1993) hallaron una correlación entre los ésteres de cadena corta con ramificaciones metilo hidrocarburos aromáticos, alcoholes y compuestos cíclicos nitrogenados y el atributo flavor “aged” (madurado). Buscailhon y col., (1994) no pudieron confirmarlo, pero encontraron una correlación de algunas cetonas y alcoholes no ramificados y compuestos no identificados con los descriptores flavor a jamón curado y a carne curada, así como una correlación entre el descriptor rancio y la concentración de aldehidos, acetato de etilo, 2,3-pentanodiona y nonano.

Las dificultades tanto técnicas como de interpretación de los resultados restringen la aplicación de los análisis de las sustancias volátiles para el control rutinario de la calidad del jamón curado. (Carrapiso y col., 2000)

1.3.3.2.2. Sustancias no volátiles

Los péptidos y aminoácidos libres, además de ser origen de sustancias volátiles, contribuyen al sabor de la carne durante la maduración (Nishimura y col., 1988; Kato y col., 1989; Aristoy y Toldrá, 1995) y/o el cocinado (Spanier y Miller, 1993). El efecto de péptidos y aminoácidos es más pronunciado en un producto de larga maduración como es el jamón curado (Toldrá y Flores, 1998), del cual se ha registrado un alto incremento de las cantidades de péptidos y aminoácidos libres. Así pues, el sabor del jamón dependerá en gran medida de la concentración relativa de los diferentes aminoácidos y péptidos, así como del contenido de sal, ya que ésta potencia el sabor de los aminoácidos (Flores y col., 1997a).

Respecto a los péptidos, las fracciones sápidas se corresponden con pesos moleculares intermedios (entre 1500 y 1700 aproximadamente) conteniendo principalmente serina, glicina, alanina, arginina, treonina y leucina. Algunos de estos péptidos han sido asociados a sabores específicos (Aristoy y Toldrá, 1995).

El perfil de aminoácidos no es únicamente el resultado de la hidrólisis peptídica, sino que también es dependiente de interconversiones entre aminoácidos, sus interacciones con otras moléculas y su degradación. En general, leucina, valina, lisina, alanina, ácido aspártico y ácido glutámico son los aminoácidos generados en mayor cantidad (Toldrá y Flores, 1998). Cada aminoácido tiene un sabor distinto, así por ejemplo, glicina y alanina tienen gusto dulce, los aminoácidos hidrófobos tienen gusto amargo y las sales sódicas de los ácidos glutámico y aspártico tienen gusto umami (Nishimura y Kato, 1988 en (Flores y col., 1997a).

Se ha encontrado que varios aminoácidos, tales como ácido glutámico, ácido aspártico, histidina, arginina, valina, metionina isoleucina, leucina, fenilalanina, triptófano y lisina se correlacionan con la longitud del proceso de secado del jamón serrano y con los sabores curado y cerdo (Flores y col., 1997a, 1997c). En jamones de Parma, lisina y tirosina han sido relacionados con una mejora del sabor madurado (“aged”) y el ácido glutámico con el sabor salado (Careri y col., 1993). Asimismo, según estos autores, la fenilalanina e isoleucina contribuyeron positivamente y la tirosina negativamente al sabor ácido. Virgili y col., 1998 analizaron dos grupos de jamones que diferían en la intensidad de sabor amargo y observaron que el contenido

Introducción

total de aminoácidos libres y la proporción de isoleucina asparaguina y sobre todo metionina eran superiores en los jamones más amargos, mientras que la proporción en ornitina, tirosina y sobre todo arginina era menor. Hansen-Møller y col. (1997) registraron una correlación entre la formación de determinados péptidos y el flavor típico del jamón de Parma. Sin embargo, se ha descrito un efecto pequeño de estos compuestos proteicos en el desarrollo del flavor en el jamón francés (Buscaillon y col., 1994a). En general, un exceso de proteolisis (índice de proteolisis mayor del 29-30 %) no es siempre beneficioso porque puede ser asociado con sabores desagradables como amargo o metálico (Careri y col., 1993; Virgili y col., 1995a; Virgili y col., 1998).

1.3.4. INFLUENCIA DE LOS MICROORGANISMOS EN LA CALIDAD SENSORIAL DEL JAMON

1.3.4.1. Efectos de la microbiota saprófita

El efecto de la microbiota de los productos cárnicos, está gobernada por la identidad y el número de microorganismos, sus actividades metabólicas intrínsecas y la expresión de estas actividades en los productos. Estas actividades dependen de la composición de la carne, ingredientes añadidos (azúcares, sal, nitratos, nitritos, etc) y de las variables tecnológicas como el pH, la temperatura, el potencial redox y la magnitud del secado (Hammes y Knauf, 1993; Montel y col., 1998).

El papel que desempeñan las Cocos GC⁺ en el curado del jamón comprende su contribución a la obtención del color típico por su capacidad nitrato-reductasa, la eliminación de peróxidos por su actividad catalásica, con la consecuente disminución de fenómenos de enranciamiento que éstos producen y las disminuciones de grupos de microorganismos indeseables que causan deterioro en el producto o son un riesgo para la salud del consumidor, al competir favorablemente frente a ellos en las condiciones a las que se desarrolla el proceso (Carrascosa y col., 1989; Cornejo y Carrascosa, 1991). Muchas bacterias catalasa-positivas además de reducir el nitrato, son capaces de degradar el nitrito a iones amonio y por tanto eliminan los nitratos y nitritos en exceso (Lücke, 1986). Los niveles añadidos normalmente de cocos GC⁺ en embutidos crudos curados se sitúan entre 10⁶ y 10⁷ ufc/g. Con este número pueden realizar sus funciones en embutidos si son metabólicamente activos aunque no crezcan en número (Lücke y Hechelmann, 1987; Stahnke, 1994). Este número de bacterias se ha encontrado en la

superficie de jamón ibérico (Rodríguez y col., 1994; Sanabria y col., 1997), serrano (Francisco y col 1981; Hernández y Huerta, 1993, Hugas y Garriga, 1987) y de Parma (Hinrichsen y Pedersen, 1995).

Los ácidos producidos por las bacterias ácido lácticas son de gran ayuda para suprimir el crecimiento de algunas bacterias indeseables en embutidos secados. Además si el pH baja a un valor inferior a 5,3, la solubilidad de las proteínas de la carne disminuye y con ella la capacidad de retención de agua y el producto se vuelve más firme y se puede secar más fácilmente. La acidificación también acelera la reducción del nitrito y por tanto el desarrollo del color (Lücke, 1986). Sin embargo en el jamón los recuentos de bacterias ácido-lácticas, en general, son demasiado bajos como para que tengan un efecto importante (Hernández y Huerta, 1993).

Según varios autores (Frey, 1983; Lücke, 1986), las levaduras que se desarrollan en la superficie de los embutidos tienen una influencia en su calidad, ya que mejoran las características organolépticas de flavor y aspecto. Sin embargo se sabe muy poco del efecto que pueden tener en los productos cárnicos cuando se desarrollan en el interior. Lücke, (1986) apunta que la actividad lipolítica y proteolítica de las levaduras en productos de origen animal ha sido objeto de estudio pero no hay suficiente información del efecto de las mismas en el proceso del jamón curado. Los hongos tienen un papel importante en los productos crudos curados ya que intervienen en el desarrollo de las características olfativas y gustativas del producto (Lücke y Hechelmann, 1987). Los mohos y levaduras superficiales pueden oxidar aminoácidos y ácido láctico. En embutidos de bajo calibre, este proceso puede ir tan lejos que pueden resultar productos con un pH sobre 7 (Lucke, 1986). El papel de los hongos en el proceso de elaboración del jamón ha sido el objetivo de controversias en base a sus efectos favorables o desfavorables. Algunos autores reflejan que su presencia puede ser beneficiosa en base a que, actúan como reguladores de la microbiota inhibiendo a microorganismos patógenos como el *Staphylococcus aureus* (Hernández y Huerta, 1993) u otros hongos toxigénicos (Liepe, 1987) y contribuyen a un lento y uniforme curado (Hernández y Huerta, 1993), considerándose su presencia como un signo de buen curado del producto (Motilva y col., 1991). También se ha afirmado que es posible que su presencia contribuya al desarrollo de adecuadas características organolépticas (Rojas y col., 1991). Por otro lado, los hongos crean un microclima favorable en la superficie de productos curados que evita un aspecto seco y grasiento en la superficie (Lücke, 1986).

Introducción

1.3.4.1.1 Actividad proteolítica y lipolítica

Córdoba y col. (1994b) atribuyeron el hecho de que los niveles de determinados aminoácidos fueran mayores más en la superficie de jamón ibérico que en profundidad a la mayor carga microbiana que presentan los músculos superficiales, en comparación con los músculos más profundos. Arnau y col. (2003a) obtuvieron valores de nitrógeno no proteico altos al final de la etapa de reposo en la parte más superficial del músculo SM, especialmente a humedades altas (85 %) y lo atribuyeron a un mayor crecimiento microbiano, que se evidenció por el aspecto limoso superficial que ofrecían estos jamones tras el reposo.

Existen varios trabajos en los que se pretende estudiar la acción de los enzimas de los microorganismos aislados del jamón para intentar esclarecer su importancia en el desarrollo de las características sensoriales del jamón curado. En general, los enzimas microbianos parecen ser especialmente efectivos en la ruptura de oligopéptidos y péptidos pequeños, mientras que sólo las proteasas endógenas parecen actuar en las primeras fases de la degradación proteica (Verplaetse, 1994; Molly y col., 1997).

Cornejo y Carrascosa (1991) aislaron, en jamones de curado rápido, 83 cepas de Cocos GC+, de las cuales 51 fueron capaz de reducir el nitrato. De éstas, 47 pudieron crecer a 34°C en un medio con 10% de sal y 100 ppm de nitrito sódico y de éstas últimas, 37 (el 44% de las 83 cepas aisladas) fueron capaz de crecer a 4°C en estas mismas condiciones. De estas 37 cepas seleccionadas, 31 (89 %) eran de la especie *S. xylosus*, 1 (3 %) de *S. capitis* y 3 (9 %) tenían características taxonómicas en común con las dos anteriores y con *S. sciuri*. Todas las cepas seleccionadas hidrolizaron tributirina, aunque sólo 11 tenían actividad moderadamente alta. Giolitti y col. (1971) y Lücke, (1986) consideran que esta propiedad lipolítica juega un papel importante en el desarrollo del flavor, aroma y sabor de los jamones y Campanini y col., (1987) también afirman que los Cocos GC+ son particularmente activos en la lipólisis. Cantoni y col., (1966) confirmaron esta actividad cuando cultivaron Cocos GC+ en un medio enriquecido con grasa. Pero Alford y col., (1971) creen que los resultados del crecimiento de microorganismos en sustratos modelo no son completamente los mismos que serían a gran escala. Molina y col., 1991 observaron una importante actividad lipolítica de *S. xylosus*, y *Cryptococcus albidus* por este orden y concluyen que *S. xylosus* tiene un efecto significativo en el desarrollo del aroma, dados sus altos recuentos. Campanini y col. (1987) y Nieto y col. (1989) también hallaron actividad lipolítica de *S. xylosus* en grasa subcutánea de jamón y de cerdo respectivamente y Stahnke (1995a) en embutido crudo curado. Cornejo y Carrascosa (1991) sólo hallaron 3 cepas de cocos

GC+ proteolíticas en medios que contenían caseína y gelatina. Molina y Toldrá, (1992) tampoco detectaron actividad proteolítica de cepas de *S. xylosus* aisladas de jamón curado sobre caseína, proteínas miofibrilares ni sarcoplásmicas. García-Varona y col., (2000) observaron una actividad proteolítica muy baja y lipolítica moderada de cepas de este coco GC+ aisladas de chorizo. Núñez, y col. (1998) y Rodríguez y col. (1998) observaron que *S. xylosus* aislados de jamones presentaron una importante actividad aminopeptidasa en reactivos peptídicos, aunque con importantes diferencias entre cepas. Las cepas de cocos aislados durante la fase de secadero mostraron mayor velocidad para hidrolizar sustratos de miosina (a los dos días de incubación), mientras que los aislados al principio de la etapa de bodega mostraron mayor capacidad para hidrolizar la miosina a los 7 días de incubación. No se observó ninguna correlación entre la capacidad para hidrolizar la miosina y la actividad aminopeptidasa. Tampoco se observó esta alta actividad proteolítica sobre el caseinato o la gelatina, lo cual puede deberse a que la miosina es un sustrato más adecuado para evaluar la actividad proteolítica de microorganismos de productos cárnicos que otros sustratos no cárnicos.

Respecto a las bacterias ácido-lácticas, Nieto y col. (1989) y Molina y col. (1991) observaron una importante actividad lipolítica de *P. pentosaceus* y *L. curvatus*, extraídos de jamón curado, siendo esta actividad superior a la de *S. xylosus* (Molina y col., 1991), pero debido a su bajo número, probablemente tengan una menor influencia en el proceso de curado. Bermell y col., (1992) no detectaron actividad proteolítica de estas dos bacterias sobre las proteínas sarcoplásmicas extraídas de *Biceps Femoris*, estimada con la concentración del nitrógeno no proteico. Molina y Toldrá., (1992) tampoco detectaron actividad proteolítica sobre proteínas miofibrilares ni sarcoplásmicas de cepas de *P. pentosaceus* aisladas de jamón curado y sólo una ligera actividad leucina arilamidasa. Se ha comprobado que algunas de las aminopeptidasas de *L. sakei* aislado de embutidos conservaban entre 30 y 60 % de su actividad, estando influenciadas por la actividad de agua. Así, a una a_w de 0,967 ya se observa una reducción de su actividad en un 10-20 % y a 0,843 llega hasta un 40-70%. El NaCl, en cambio, puede tener efectos inhibidores o activadores dependiendo de su concentración. La temperatura también tiene un efecto considerable, ya que se registró una reducción de alrededor del 50 % de la actividad al variar la temperatura de 25 a 15° C (Sanz y Toldrá, 1997)

Las levaduras aisladas de jamón ibérico presentaron una baja actividad proteolítica sobre un sustrato de miosina (Núñez, y col., 1998; Rodríguez y col., 1998). Por otro lado sólo *C. albidus* presentó actividad proteolítica, aunque poca, sobre las proteínas sarcoplásmicas de *Biceps Femoris*, estimada con la concentración del nitrógeno no proteico (Bermell y col., 1992).

Introducción

Saldanha-da-Gama y col., (1997) hallaron actividad lipolítica de las cepas de levaduras aisladas de la grasa del jamón.

Por otro lado Núñez, y col. (1998) y Rodríguez y col. (1998) observaron una importante actividad proteolítica sobre sustratos de miosina de cepas de hongos del género *Penicillium* aisladas de jamón ibérico.

En todos los trabajos mencionados se ha estudiado la actividad metabólica *in vitro*. Hay muy pocos trabajos en los que se utilicen modelos de carne curada estéril para poder estudiar la participación relativa de los enzimas tisulares y microbianos en la degradación de cada proteína individual. El papel preciso que las bacterias tienen en el desarrollo del flavor del jamón también es difícil de cuantificar, ya que puede complementar o sobreponerse a los procesos químicos o bioquímicos propios del producto. Su función puede ser estimada a partir de la actividad metabólica *in vitro* pero se comprende mejor si se utilizan modelos asépticos en los cuales se inocula la microbiota objeto de estudio.

Cabe destacar los trabajos de Núñez, y col. (1998), Rodríguez y col., (1998) y Alonso y col., (2002) los cuales inocularon cepas de cocos GC+, hongos y levaduras aisladas de jamón ibérico sobre muestras estériles (filetes) de lomo con 5 % de sal y las incubaron a 25°C durante 30 días. Se evaluó la variación de las proteínas miofibrilares, proteínas sarcoplásmicas y compuestos nitrogenados solubles mediante las técnicas de electroforesis SDS-PAGE (Rodríguez y col., 1998) y electroforesis capilar (Núñez, y col., 1998) en muestras inoculadas y sin inocular (Alonso y col., 2002). Se observó una importante aumento de la actividad proteolítica sobre las proteínas miofibrilares en comparación con la de las muestras no inoculadas, siendo cepas de *Penicillium chrysogenum* las que mostraron mayor actividad, seguidos por *P. commune*, *S. xylosus* y *D. hansenii*. En el grupo de las proteínas sarcoplásmicas los cambios atribuibles a la acción microbiana fueron menos importantes, destacando la actividad de *S. xylosus*, seguidos por *P. chrysogenum* y *D. hansenii*. Sin embargo sólo los *Penicillium*, y en concreto el *P. chrysogenum* originaron un considerable aumento en casi todos los aminoácidos libres. Esto puede deberse a una proteolisis limitada que origine péptidos en lugar de aminoácidos.

Céspedes (2001) también obtuvo halló una importante actividad lipolítica y proteolítica de *P. chrysogenum*, evaluada mediante el nitrógeno no proteico, al inocularlo sobre modelos cárnicos con 10 % sal/agua, así como una reducción del índice de TBA.

Un paso posterior es la obtención de productos cárnicos estériles sometidos a una desecación en condiciones asépticas, los cuales se comparan con aquellos a los que se han inoculado microorganismos aislados del jamón curado. Así Martín y col., (2002) observaron que

la inoculación con *P. chrysogenum* en un lomo curado obtenido en condiciones asépticas, salado con sal estéril (5 % en peso) y sometido a un procesado similar al del jamón curado no causó un aumento de la hidrólisis de proteínas sarcoplásmicas pero sí de las miofibrilares, así como un aumento de la cantidad de aminoácidos libres tras 106 días de maduración, mientras que la inoculación de *D. hansenii* no provocó estos cambios. Además, el estudio de las proteínas y péptidos mediante electroforesis capilar permite averiguar cuales son los péptidos producidos únicamente por acción de los enzimas endógenos de la carne.

Si bien, el aumento de aminoácidos libres en los productos cárnicos no se correlaciona de una forma directa con un mejor aroma o sabor (Díaz y col., 1997), algunos aminoácidos pueden transformarse en nuevos productos, como aldehidos, ácidos, cetonas o aminas (Hinrichsen y Andersen, 1994) o pirazinas (Asensio y col., 2003), que pueden contribuir al sabor por lo que la formación moderada de aminoácidos libres debe considerarse una característica positiva en jamón curado.

1.3.4.1.2 Formación de sustancias sápidas y volátiles

Hammes y Knauf (1993) y Montel, y col. (1998) hacen una revisión de los efectos de las Cocos GC+ y las bacterias ácido-lácticas en el flavor de productos fermentados, indicando sustancias volátiles con posible origen microbiano, así como sus características de flavor. Los efectos de estos microorganismos en el flavor se relacionan con el catabolismo de carbohidratos y aminoácidos, proteolisis, lipolisis, oxidación de ácidos grasos y producción de ésteres.

Al contrario que en los productos fermentados, en el caso del jamón curado, el papel de la microbiota en el desarrollo de su flavor característico se considera de menor importancia, excepto para imputar sabores defectuosos a los microorganismos, en los cuales sí se considera que la microbiota participa de manera muy importante (Montel y col., 1998). En general, está muy extendida la opinión de que las bacterias no juegan un papel importante en el interior del jamón curado en el proceso de maduración curado por su bajo número (Silla y col., 1989), aunque en la superficie pueden llegar a valores altos (Hernández y Huerta, 1993; Rodríguez y col., 1994; Sanabria y col., 1997) especialmente en zonas de difícil deshidratación (Baldini y col., 1977).

Algunos de los volátiles presentes en el jamón con un origen químico, podrían además tener un origen microbiológico (ver aptdo. 3.3.2.1), pero esto no se ha demostrado en el caso del jamón al no haberse estudiado la formación de volátiles en un jamón estéril. Es el caso de aldehidos ramificados y sus respectivos alcoholes, cetonas y ácidos. Hinrichsen y Pedersen (1995)

Introducción

postulan que los microorganismos podrían tener importancia en la composición de los volátiles en el jamón de Parma, en el cual los volátiles provenientes de la oxidación lipídica se consideran poco importantes. Los microorganismos podrían contribuir en la formación de ésteres de etilo, de aldehidos con ramificaciones metilo y dimetil trisulfuro a partir de aminoácidos y metil cetonas o alcoholes secundarios a partir de ácidos grasos libres. Estos volátiles se correlacionaron con los descriptores queso, salado y fruto seco, considerados por estos autores como típicos del sabor del jamón de Parma. Por el contrario, Flores y col, (1997) descartan que la presencia de esterres en el jamón curado, especialmente el de Parma, se deba al crecimiento de microorganismos y atribuye la mayor presencia en jamones italianos al hecho que normalmente no se le añaden nitratos ni nitritos.

Sosa y col., (2003) hallaron una importante actividad desaminasa en cocos GC+ aislados de jamón ibérico. Los α -cetoácidos resultantes pueden intervenir en rutas de formación de volátiles (Hinrichsen and Andersen, 1994).

Al inocular cepas de cocos GC+, hongos y levaduras aisladas de jamón ibérico sobre muestras estériles (filetes) de lomo con 5 % de sal e incubarlas a 25°C durante 30 días los más activos respecto a la formación de volátiles fueron por este orden *P. chrisogenum*, *D. hansenii* y *S. xylosum*, siendo además el hongo el único que dio lugar a notas propias de la carne curada. Los resultados obtenidos al inocular estos tres microorganismos simultáneamente fueron diferentes a los esperados a partir de los resultados de las inoculaciones individuales, lo cual pone de manifiesto la complejidad de las interacciones entre microorganismos y de las reacciones que dan lugar a la formación de compuestos volátiles (Alonso y col., 2002). La inoculación simultánea de *S. xylosum*, *D. hansenii* y *P. chrisogenum* aislados de jamón, provocó la aparición de notas características a jamón curado en carne estéril salada e incubada a 18 °C y HR 84 % durante 30 días (Alonso y col., 2003). En lomo estéril curado durante 106 días *P. chrisogenum* originó una disminución de alcoholes y un aumento de pirazinas, pirroles y ácidos volátiles, mientras que *D. hansenii* solo causó un aumento de aldehidos y alcoholes (Martín y col., 2000). El incremento en la cantidad de algunos de estos compuestos, como las pirazinas, se debería a la mayor producción de aminoácidos que intervendrían en reacciones posteriores como la de Maillard. Los efectos de estos microorganismos en lomo curado podrían no ser reproducibles en jamón curado, debido a su estructura heterogénea, y su efecto estaría limitado a la superficie y a la difusión a tejidos más profundos de los compuestos volátiles.

Acosta y col (2003) estudiaron la formación de volátiles en sustratos cárnicos estériles inoculados con diferente hongos aislados del jamón y llegó a la conclusión de que favorecen la

formación de compuestos volátiles derivados del catabolismo de los aminoácidos, y además podrían incrementar los fenómenos de oxidación lipídica mediante fenómenos de β -oxidación.

1.3.4.2. Alteraciones de origen microbiano

Ocasionalmente, se puede producir deterioro en el jamón por un crecimiento excesivo de microorganismos alterantes, lo cual es debido principalmente al uso de materia prima inadecuada o a la aplicación de una tecnología defectuosa durante la fabricación, conservación o comercialización.

En general, los jamones defectuosos suelen presentar al final del proceso los mismos grupos de microorganismos que los jamones no defectuosos, aunque con diferencias cuantitativas entre ellos, así como una mayor humedad y menor contenido de cloruro sódico, nitratos y nitritos (Arnau y Hugas, 1987; Marín y col, 1992).

Los defectos de origen microbiano más importantes son la putrefacción y el agriado (Cantoni y col., 1969; Arnau y Hugas, 1987; Marín y col, 1992; Paarup y col, 1999), que también se conocen con el nombre genérico de “cala” y afectan principalmente a la zona que rodea a la articulación coxo-femoral, fémur, tibia y peroné. Otros defectos son los jamones con manchas verdes, la formación de gas en jamón envasado al vacío, el jamón con limo y el jamón con mancha negra (Marín y col., 1992; Hugas y Arnau, 1987a). El jamón con putrefacción presenta un olor desagradable debido a los gases producidos en la descomposición de las proteínas (H_2S , CH_3SH , NH_3) que pueden llegar a proporcionar un aspecto hinchado. A este respecto, Acilu y col., (1999) encontraron en jamones con cala un contenido mayor de 1-butanol y sobre todo de dimetildisulfuro que en jamones defectuosos y atribuyeron éste último a la acción microbiana. En esta alteración las enterobacterias tienen un papel principal (Arnau y Hugas, 1987; Marín y col, 1992). Marín y col (1992) observaron que dentro de las *Enterobacteriaceae* los no coliformes y entre ellos la especie *Serratia liquefaciens* fueron predominantes en jamones defectuosos de curado rápido y las coliformes, mayoritariamente *Leclercia decarboxylata* lo fueron en jamones deteriorados de curado lento. Paarup y col. (1999) identifican a *Serratia liquefaciens*, *Proteus vulgaris* y *Enterobacter cloacae* como responsables de cala en jamón serrano y aislaron cepas capaces de crecer en un medio que contenía un 7 % de NaCl incubado a 5° C. Carrascosa y col., (2000) reprodujeron el defecto de cala al inocular *Serratia liquefaciens* y *Proteus vulgaris*. Miranda y col., (1998) hallaron un número importante de *Proteus mirabilis* en jamones hinchados con baja concentración de sal. Benezet y col., (1998) responsabilizan a *Kurthia zopfii* de una

Introducción

alteración consistente en una textura blanda con un olor desagradable (amoniacal) y una coloración oscura en la zona que recubría el hueso femur de jamones que presentaban niveles altos (10^7 ufc/g) de esta bacteria. En el agriado se presenta un sabor y olor ácidos causados por fórmico, acético, butírico, propiónico y otros ácidos orgánicos. El origen de esta problemática no se ha encontrado específicamente, pero podrían contribuir algunas bacterias lácticas, enterobacterias, etc (Cantoni y col., 1969; Arnau y Hugas, 1987). El defecto del jamón con manchas verdes consiste en la aparición de coloraciones verdosas dentro del jamón sin que aparezcan olores extraños y constituye un problema periódico para la industria cárnica y podría ser causado por las bacterias ácido lácticas y enterococos (Marín y col., 1992). Las bacterias ácido-lácticas también son responsables, junto a las enterobacterias de la aparición de gas en el interior de jamones envasados al vacío. El limo superficial, debido al crecimiento de cocos GC+, aparece durante las etapas de refrigeración iniciales cuando la humedad ambiental es excesivamente elevada (superior al 90 %) (Poma, 1987; Marín y col., 1992). Este limo contribuye a que se forme una costra o capa superficial dura que dificulta el secado normal (Arnau, 1998). El jamón con mancha negra consiste en la aparición de manchas marrones tras el salado que pasan a negro con el tiempo y se debe a la acción del *Carnimonas nigrificans* (Garriga y col., 1998).

En jamones italianos, Campanini y col., (1985) identificaron a *Enterobacter agglomerans*, *Serratia liquefaciens* y *Proteus vulgaris* como responsables de alteraciones de jamón de Parma. Otro defecto que ocurre en jamones italianos es el defecto del ácido fénico y consiste en el desarrollo de un olor similar al fenol. Esta alteración se ha atribuido a *Penicillium comune*. Para evitar el crecimiento de las esporas se recomienda combinar una baja contaminación con una concentración de sal del 17,5 % en la superficie del jamón durante el salado o bien con una humedad relativa inferior al 85 % durante el reposo. (Spotti y col., 1988).

1.3.5. DEFECTOS EN EL JAMON CURADO

Uno de los objetivos fundamentales de la elaboración de jamón curado lo constituye la obtención de un producto de máxima calidad sensorial. Sin embargo, no siempre los productos obtenidos presentan la calidad deseada. Las causas hay que buscarlas en la materia prima o en el proceso de elaboración utilizado. Estas problemáticas disminuyen la calidad del producto o incluso pueden hacerlo incomedible. Arnau, (1998) realizó una revisión de los principales problemas tecnológicos en la elaboración del jamón curado. Estos problemas afectan al aspecto

(heterogeneidad del color o colores anómalos, remelo, formación de precipitados, presencia de ácaros) textura (textura blanda, encostrado, coquera) flavor (calas, sabor salado, sabores anómalos. De todos estos defectos, los que incumben directamente al proyecto de tesis son:

1.3.5.1. Ácaros

La presencia de ácaros, especialmente en jamones de larga curación, constituye uno de los problemas más importantes de los que deben afrontar los industriales del jamón curado. Esto se debe a que, por un lado, durante el procesado pueden acceder al interior del jamón e intervienen en el desarrollo del defecto de la coquera y por otro, su presencia en el producto final puede producir el rechazo de los consumidores por el aspecto desagradable que confieren al producto (Arnau, 1998).

Según Loreto (1985), los ácaros se pueden clasificar en 3 grupos: a) primarios, aquellos capaces de colonizar, alimentarse y desarrollarse en el jamón; b) secundarios: ácaros predadores, asociados a sus presas potenciales, los ácaros primarios; c) esporádicos: aquellos no adaptados al jamón y hallados de forma casual en el secadero.

Su ciclo biológico comprende los siguientes estados: huevo, larva, estados ninfales y adulto y en condiciones adecuadas de nutrición y de medio ambiente pueden completarlo en 2 o 3 semanas. Las formas móviles son las larvas, con 3 pares de patas, algunas formas ninfales y los adultos con 4 pares de patas (Lorenzo y Flores, 1988).

El jamón curado es atractivo para los ácaros, ya que contiene diversos compuestos necesarios para su metabolismo. En el jamón, los ácaros se alimentan principalmente de los hongos de cobertura, aunque también son capaces de hidrolizar proteínas musculares (Jorrín y col., 2001). Los ácaros del jamón son artrópodos pertenecientes a la clase arácnidos, subclase ácaros.

Lorenzo y Flores (1988), Lorenzo y Catalá (1989) y Jorrín y col., (2001) describen las especies más frecuentes, sus ciclos evolutivos y las condiciones ambientales que limitan su desarrollo. Las especies presentes en el jamón son diferentes según la zona geográfica donde se elabore el jamón (Sánchez-López y col., 2003). En general, la especie más prevalente en el jamón curado español es *Tyrophagus putrescentiae* del orden *Astigmata*, familia *Acaridae* (Lorenzo y Flores, 1988; Arnau y Guerrero, 1994; Sánchez-López y col., 2003).

Se han publicado diferentes estudios sobre métodos para eliminar los ácaros del jamón (Lorenzo y Flores, 1988; Arnau y Guerrero, 1994; Guerrero y Arnau, 1995; Acha y col., 1994;

Introducción

Schmidt, 1996; Acha y col., 2001; Jorrín 2001); sin embargo, no existe ninguno que combine al mismo tiempo eficacia contra todos los estadios de desarrollo de los ácaros, facilidad de aplicación, inocuidad para el consumidor y ausencia de efectos dañinos en el jamón.

El mejor método de lucha sigue siendo la prevención a través de buenas prácticas higiénicas y la ejecución de un buen plan de limpieza, haciendo especial hincapié en la limpieza de las instalaciones y de la indumentaria de los trabajadores y evitando la entrada de vectores como roedores e insectos. También es recomendable la disminución de la humedad relativa, el aislamiento de los secaderos y la aplicación de unas medidas de limpieza y engrasado de los jamones que frenen la coquera y por tanto la entrada de ácaros al interior del jamón, lo cual dificultaría su erradicación (Arnau y col., 1987b; Lorenzo y Flores, 1988; Schmidt 1996; Arnau, 1998; Jorrín 2001).

Para su eliminación en los secaderos vacíos se han propuesto productos químicos (Schmidt and Cremmling, 1975; Migaud y Frenztz, 1978; Lorenzo y Flores, 1988; Guerrero y Arnau, 1995) que en la mayoría de los casos deberían ser aplicados por empresas especializadas, ya que su uso por personal no especializado, podría resultar peligroso (Arnau, 1998). También la regulación de la temperatura y la humedad relativa ambiental podría resultar efectiva, aunque el periodo necesario para que sea eficaz es demasiado largo (Suñer y col., 1987; Schmidt, 1996). Así a 20 ° C, si la humedad relativa se sitúa entre 55 y 60 % se eliminan las formas móviles de los ácaros y si es inferior al 55 % durante más de 2 semanas se eliminan todos los estadios de crecimiento de los ácaros, siempre que estos no puedan entrar al interior del jamón (Schmidt, 1996).

1.3.5.2. Coquera

En la zona del músculo *Adductor* y sus alrededores existe una elevada deshidratación superficial debido a la elevada relación superficie de evaporación/masa cárnica y a la presencia del foramen obturador. Por otra parte el hueso dificulta la retracción de la musculatura y puede facilitar la formación de cavidades en las que se desarrollan olores desagradables a bodega húmeda debido al crecimiento de *Micrococcaceae* (Hugas y Arnau, 1987b), hongos y ácaros. Esta problemática se conoce a nivel industrial con el nombre de "coquera". Estos desgarros son más pronunciados en jamones procedentes de aquellas líneas genéticas conformadas y magras (Guerrero y col., 1996; Gou y col., 1995). La magnitud de este defecto se puede reducir mediante la extracción parcial de la corteza antes del procesado (corte en "V") (Gou y col., 2000), la aplicación de un secado más suave y la aplicación de grasa en el hueso coxal y en las zonas

adyacentes al músculo *Adductor* hacia los 4-5 meses de procesado (Arnau, 1998). Con esta grasa (normalmente manteca fundida de cerdo) se logra disminuir la velocidad de secado por un lado y por el otro dificultar la entrada de los ácaros al interior de la pieza.

1.3.5.3. Acortezamiento

Consiste en la formación de una costra reseca superficial en el jamón. Puede ser debido a dos causas diferentes:

a) Un secado rápido de la superficie, en cuyo caso, la migración del agua del interior no es suficiente para compensar la deshidratación superficial.

b) También puede ser debido al remelo (formación de un limo superficial en el reposo cuando la velocidad de deshidratación es muy lenta), el cual favorece la formación de sustancias poco solubles en la superficie del jamón, como el Na_2HPO_4 . Cuando se seca el jamón se forma una costra dura que dificulta la retracción durante el secado y afecta al sabor, textura y flavor. El remelo se evita mediante un secado rápido después del lavado y/o la aplicación de sustancias conservadoras en la superficie del jamón.

El acortezamiento puede facilitarse por una materia prima muy magra, en la que el secado es muy rápido. Un pH elevado también favorece este defecto ya que por un lado beneficia la formación de precipitados en superficie y por otro lado la elevada capacidad de retención del agua dificulta la migración del agua del interior a la superficie para evitar el remelo.

1.3.5.4. Textura blanda o pastosa

La textura blanda o pastosa puede estar ocasionada por un pH elevado de la materia prima (Arnau y col., 1998), por el uso de una carne que posea un elevado potencial proteolítico (Virgili y col., 1995a), por la presencia de grasa intramuscular e intermuscular que dificulte el salado y secado, por un contenido de sal bajo o bien por una temperatura de procesado elevada (Arnau y col., 1997). En los jamones con textura pastosa suele observarse de forma simultánea un mayor brillo al corte. Es una problemática que ha aumentado en los últimos años, en parte debido a la disminución de la cantidad de sal añadida y quizás también a una mayor incidencia de carne con elevado potencial proteolítico. Aparte de la selección de la materia prima, la única forma de frenar la incidencia de texturas pastosas consiste en actuar sobre aquellos parámetros que disminuyan la proteólisis (acelerar el salado y el secado, y disminuir la temperatura media de proceso).

1.3.5.5. Velo blanco y pintas blancas

La aparición de estos dos fenómenos en el jamón curado es muy frecuente y normalmente, van asociados a una proteólisis pronunciada (Silla y col., 1985; Virgili y col., 1995a; Arnau y col. 1997; Virgili y col., 1998). El velo blanco es considerado un problema, no siendo siempre así en el caso de las pintas blancas (Silla y col., 1985; Arnau y col., 1987c; Arnau y col., 1996). Ha habido discusión sobre su composición, sin embargo la tirosina es el aminoácido mayoritario en ambos fenómenos (Butz y col, 1974; Silla y col., 1985; Arnau y col., 1987c; Toldrá y col., 1990; Arnau y col., 1996). El velo blanco consiste en la formación de una pátina blanquecina en la superficie de las lonchas o cortes de jamón tras varios días de almacenamiento en refrigeración. Esta patina no se observa alrededor de las pintas blancas (Arnau y col., 1994). El pH alto disminuye estos problemas al aumentar la solubilidad de tirosina y disminuir la proteólisis. Por otro lado, cuanto mayor es la temperatura de almacenamiento, la solubilidad de la tirosina es también mayor, y por tanto la intensidad del velo blanco disminuye (Arnau, 1998). El uso de jamones que han sido previamente congelados facilita la formación de pintas blancas (y por tanto disminuye la intensidad del velo blanco), ya que la membranas celulares rotas pueden actuar como centros de nucleación. También se ha observado que la precipitación de la tirosina se favorece en un medio con un mayor contenido graso (Virgili y col., 1995a).

1.3.5.6. Precipitados de fosfato

La formación de cristales de fosfato (Na_2HPO_4) está favorecida por un pH elevado, una baja temperatura de almacenamiento, una humedad ambiental elevada y una elevada concentración de sal y fosfatos (Arnau y col., 1993; Arnau y col., 2003d). Normalmente se observan en el exterior del jamón en el reposo o en la superficie de corte, especialmente cuando se almacenan en refrigeración (Arnau, 1998).

1.3.5.7. Crecimiento de hongos en el interior del jamón

Aunque los mohos se desarrollan mayoritariamente en superficie del jamón, en ocasiones también ocurre un crecimiento fúngico en zonas más internas como la articulación coxofemoral, espacios intermusculares, zonas donde se realiza el calado (Arnau, 1987a) y en el interior del

hueso de la rabadilla o de la paleta (Arnau, 1993). Los jamones de corta curación que se comercializan envasados al vacío se deshuesan en un punto intermedio del secado cuando la sal se ha repartido uniformemente por el jamón, se les aplica una solución de acetato de polivinilo que produce, al secarse, una cobertura plástica y se les somete a un proceso de secado (Arnau, 1993). En este tipo de proceso es frecuente el desarrollo de hongos en la zona ocupada por el fémur, ya que en esta área la humedad es elevada y la circulación del aire es difícil. En los secaderos se ha podido comprobar que si bien la temperatura es controlada con bastante precisión, la humedad relativa muestra una gran heterogeneidad de condiciones debido a una distribución poco homogénea del aire.

1.3.6 INFLUENCIA DE LOS PARAMETROS TECNOLOGICOS EN LA CALIDAD DEL JAMON CURADO

1.3.6.1. Temperatura

Al inicio del procesado se utilizan temperaturas de refrigeración durante el periodo de tiempo necesario para que se alcancen, en todas las zonas del jamón, los valores de concentración de sal y de a_w suficientes para evitar la alteración microbiana del producto. El aumento de temperatura posterior tiene influencia en muchos aspectos del procesado: velocidad de secado, crecimiento microbiano, fenómeno de sudado, actividad de las enzimas proteolíticas y lipolíticas, oxidación lipídica, la formación de volátiles, etc. Así, la mayor temperatura utilizada en el procesado de jamón ibérico es una de las causas del mayor contenido en volátiles comparado con otros jamones como el serrano, de Parma o Bayona (Sabio y col., 1997).

En los procesos acelerados de maduración se utilizan temperaturas más altas para alcanzar las características del producto terminado (merma, aroma, textura...) en un tiempo inferior. No obstante, incluso en los procesos de maduración largos es frecuente realizar un periodo de estufaje a temperaturas relativamente altas (25-30 ° C). Flores y col., (1984) compararon dos procesos, “lento” y “rápido” de 14 meses de duración, que se diferenciaban en las temperatura al inicio del secado (3-10 y 14-16 ° C respectivamente) y que el proceso rápido incluía un estufaje de 15 días a 30° C que tuvo lugar tras 6 meses de procesado, mientras que en el proceso lento la temperatura no superó los 22° C. Observaron que el proceso rápido desarrollaba más rápidamente las

Introducción

características sensoriales típicas, pero su calidad se ve sensiblemente reducida al final del proceso como consecuencia del deterioro del sabor y de un endurecimiento excesivo.

Arnau y col., (1997), investigaron el efecto de la temperatura (20, 25 y 30° C) en el último (sexto) mes de procesado de jamones blancos, y observaron mayores valores de concentración de tirosina y de los descriptores, brillo, intensidad de velo blanco, pastosidad y sabor picante en los músculos BF de las piezas sometidas a 30°. Estas diferencias se atribuyeron a una mayor actividad de las proteasas. No se observaron diferencias significativas entre los jamones procesados a 20 y 25° C. Los resultados del análisis discriminante canónico mostraron que los valores de humedad y desmenuzabilidad de los BF se contrastaban con los descriptores anteriormente mencionados. Estos autores concluyen que el uso de un periodo de estufaje más corto podría ser útil para acelerar el secado sin que se detecten los efectos negativos.

Pérez-Alvarez y col., (1997) estudiaron el efecto de la temperatura durante la etapa de salado y no obtuvieron diferencias significativas en el contenido de humedad, sal, nitrito y color instrumental entre jamones salados a $1,5 \pm 1^\circ\text{C}$ y a $3,5^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$.

Virgili y col. (1995a), obtuvieron mayores valores de nitrógeno no proteico cuando los jamones fueron secados a 18°C que a 15°C durante el cuarto mes.

Martín y col., (1998b) analizaron el nitrógeno no proteico de músculos SM y BF de jamones ibéricos fabricados por dos fábricas con diferentes temperaturas en las fases de reposo, secado y de bodega y se observó que, para cada etapa, el incremento de nitrógeno no proteico fue superior en aquella fábrica donde la temperatura fue mayor. Este fenómeno estaría relacionado con la estimulación de los enzimas proteolíticos. El efecto de la temperatura fue más importante que la diferencia en el contenido de sal entre los jamones elaborados en cada fábrica, como indica el hecho de que la producción de NNP no siguió la misma progresión que el contenido en sal. Durante el secado, hubo un gran incremento de aminoácidos libres en el BF superior al de nitrógeno peptídico. En la etapa de bodega la evolución depende de la temperatura. En un proceso tradicional, en el cual la etapa de bodega llega a temperaturas de 25°C, el nitrógeno peptídico disminuyó debido a que su degradación a aminoácidos fue mayor que su formación. Además hubo un aumento importante del nitrógeno básico volátil, quizás como consecuencia de la actividad microbiana. En cambio, en un proceso moderno, en el cual la temperatura de esta etapa es inferior y más controlada, la cantidad de aminoácidos, nitrógeno peptídico y nitrógeno básico volátil apenas sufre variación (Martín y col., 1998a). En concordancia con estos resultados, Hortós (1995) observó que tras 4 meses de secado, el índice de proteolisis, era ligeramente superior en jamones madurados a una temperatura de 10-24 ° C que en aquellos secados a unas temperaturas

de 10-14° C, pero la diferencia fue mayor en los índices del nitrógeno aminoacídico/NNP y del NBV/NNP.

1.3.6.2. Actividad de agua/Humedad relativa

La a_w es el factor que, durante el secado, controla el desarrollo de la microbiota del jamón, especialmente tras las primeras etapas del proceso a temperaturas de refrigeración, y que más contribuye a la estabilidad del producto final (Leistner, 1985) y viene determinada por las características de la materia prima, la humedad relativa ambiental y la temperatura. La humedad relativa ambiental determina la velocidad de secado exterior y por tanto la a_w y textura superficial, mientras que las características de la materia prima y la temperatura tienen más influencia en el perfil de humedades y a_w a lo largo del espesor del jamón (Gou, 1998).

En general se recomienda evitar humedades relativas altas durante el reposo para evitar el remelo (Poma, 1987) y la cristalización de fosfato (Arnau y col. 1993). Humedades relativas por debajo de 60 % inhiben el crecimiento de mohos (Leistner y col., 1981) y por debajo de 55 % eliminan los ácaros de la superficie (Schmidt, 1996). Humedades por debajo de 75 % facilitan el exudado de la grasa (conocido popularmente como “sudado”), la cristalización de la sal así como cambios estructurales en la corteza (Arnau y Gou, 2001).

Como ya se ha descrito anteriormente, la humedad y la a_w tienen influencia en varios factores, como el crecimiento microbiano, el fenómeno de sudado, la actividad de las enzimas proteolíticas y lipolíticas, la oxidación lipídica y la formación de volátiles. Existen trabajos en los que se estudia la influencia del contenido acuoso y la actividad de agua en determinados sustratos, cárnicos o no, para hallar información sobre su influencia sobre diferentes aspectos involucrados en la maduración del jamón, como la actividad enzimática, crecimiento microbiano, textura, etc. No obstante, y a pesar de la importancia de la humedad relativa ambiental en las características del jamón curado, existen pocos trabajos en los cuales se estudie el efecto de aplicar diferentes humedades durante alguna etapa del procesado. Arnau y col., (2003a) estudiaron varios parámetros físico-químicos en la superficie del músculo SM de jamones que durante el reposo habían estado sometidos a diferentes humedades relativas (52 ± 3 %, 78 ± 3 % y 85 ± 3 %) y observaron una tendencia a presentar mayores concentraciones de P_2O_5 al final del reposo en aquellos jamones que habían sufrido el reposo a una humedad relativa de 85 ± 3 %. Además estos jamones registraron al terminar el procesado valores superiores de pH y cenizas, así como una

Introducción

menor a_w . Esto último fue atribuido a una menor cantidad de exudado de grasa fundida, y por tanto a un menor efecto protector de ésta frente al secado.

1.3.6.3. Concentración de sal y azúcares

El jamón curado es uno de los productos cárnicos con mayor cantidad de NaCl añadido. Su concentración en el producto terminado está entre el 4 y 7 % en base húmeda y entre el 10 y 18 % en base seca, dependiendo del tipo de jamón (Baldini, 2001) y de la zona anatómica (Arnau y col., 1995). El NaCl es el principal responsable de la estabilidad microbiológica y determina en buena parte las características sensoriales que caracterizan a este producto. Para su acción conservadora, es necesario que durante las etapas de salado y reposo se produzca una distribución homogénea de la sal hacia los puntos más internos del jamón, para evitar el crecimiento de microorganismos indeseables (Baldini y col., 1984; Roca y col., 1989). Una cantidad insuficiente de NaCl en los puntos más internos no podría evitar el crecimiento de microorganismos alteradores como *Proteus vulgaris*, *Enterobacter agglomerans* y *Serratia liquefaciens* (Baldini y col., 1984; Cornejo y col., 1991) y además favorece una proteólisis excesiva, que da lugar a la aparición de texturas blandas y pastosas, las cuales dificultan el loncheado y reducen la aceptabilidad del producto (Arnau y col., 1991). Según Leistner (1985) un 4,5 % de NaCl es suficiente para que desarrolle su papel como conservante en jamón, y considera que superar un 6,0 % es innecesario e indeseable.

Respecto a la influencia de la sal sobre la proteólisis protagonizada por las enzimas de la carne, ésta tiene efectos opuestos. Por un lado la sal tiene efecto estabilizador sobre las actividades enzimáticas y facilita cambios en la estructura miofibrilar debido al aumento de la presión osmótica que favorece la accesibilidad de las proteínas miofibrilares por las proteasas, pero por otro la sal inhibe la acción de las proteínas, como se ha comprobado en estudios *in vitro* (Toldrá y Etherington, 1988; Sárraga y col., 1989; Rico y col., 1990; Arnau y col., 1998; Gil y col., 1999). Así pues, la influencia de la sal sobre la proteólisis enzimática en el jamón dependerá de la importancia relativa de los factores que la inhiben o favorecen. Está generalmente aceptado que cuanto menor es el contenido en sal, más blando es el jamón como consecuencia del efecto inhibitorio de la sal sobre la actividad de las enzimas proteolíticas (; Parolari y col 1988; Parolari 1994, 1996; Arnau y col., 1997). Parolari (1996) halló una relación entre la actividad de la catepsina, la concentración de sal y el nitrógeno no proteico, lo cual puede servir para cumplir el requisito del Consorcio de Parma de que el índice de proteólisis debe estar por debajo del 31 %.

Por otro lado, una mayor concentración de sal puede dar lugar a una menor grado de funcionalidad de las proteínas (retención de agua, solubilidad, viscosidad., etc.) (Guerrero y col., 1998) y además también influye sobre el aspecto del jamón ya que favorece la cristalización de Na_2HPO_4 en la superficie (Arnau 1997, 1998).

Se han realizado diferentes estudios para evaluar el efecto de aumentar o disminuir el contenido de sal en el jamón. Coutron y col., (1999) observaron que una reducción del contenido en sal (del 11,5 al 7,5 % en el producto final) no dio lugar a cambios importantes en la textura (un aumento de la terneza o y una disminución de la sequedad ambos no significativos), pero ocasionó una disminución de la oxidación, evidenciada por un mayor contenido en algunos ácidos grasos en la fracción de fosfolípidos. Sin embargo los jamones menos salados tenían mayor puntuación de atributos negativos relacionados con la rancidez, como rancido, graso y flavor a mantequilla. Según estos autores, el fuerte sabor salado enmascaraba la mayor oxidación.

Arnau y col (1997) observaron que un aumento en el contenido de sal de 1,4 gr NaCl/100 gr (materia húmeda), obtenido al prolongar el periodo de salado, dio lugar a jamones con menor contenido de tirosina, velo blanco y pintas blancas en el BF y lo atribuyeron a una inhibición de la actividad proteolítica producida por la sal, aunque no se observaron diferencias significativas en el brillo y pastosidad. Los panelistas fueron capaces de detectar diferencias en el sabor salado incluso cuando las diferencias eran de 0,6 g/100 g. Arnau y col. (1998) no registraron un efecto de la concentración de sal en la actividad enzimática de la catepsina D, pero sí hallaron mayor actividad de las enzimas B y B+L extraídas de jamones con 80 g/kg de sal añadida que en aquellos con 55 g/kg. Este efecto de la sal fue menor en jamones con pH inicial superior a 6,2. Los valores superiores de pastosidad y adhesividad de jamones elaborados con un contenido menor de sal lo atribuyeron a un mayor grado de funcionalidad de las proteínas cárnicas ya que no hubo diferencias en los valores de nitrógeno no proteico ni de concentración de tirosina. También registraron un menor contenido acuoso en los jamones más salados debido a una mayor deshidratación osmótica.

Gelabert (2000) estudió los efectos de la reducción de la sal añadida en jamón curado elaborado mediante la tecnología de salado con cantidad de sal fija y observó que al reducir de 60 a 48 g/kg se registró una disminución del sabor salado y de la dureza, así como un aumento del brillo, pastosidad y adhesividad. Las diferencias con el control se doblaron al reducir la sal añadida a 36 g/Kg.

Respecto al uso de azúcares, la adición de dextrosa en jamón curado dio lugar a un producto menos salado, con menor flavor a coquera, con mayor intensidad de los descriptores

Introducción

dulce y añejo, favoreció el crecimiento de hongos y evitó la formación de cristales de fosfato en superficie, (Boadas y col., 2000).

1.3.6.4. Aplicación de cultivos iniciadores

Hammes, (1995) define a los cultivos iniciadores como preparaciones que contienen formas vivas o latentes de microorganismos que desarrollan en el sustrato de fermentación la actividad metabólica deseada. En general, aunque no necesariamente, los organismos crecen (se multiplican) en este sustrato.

Las propiedades que deben tener los microorganismos para formar parte de los cultivos iniciadores son: capacidad para crecer en el producto cárnico en el que se inoculen; crecimiento en anaerobiosis; capacidad de crecimiento a bajas temperaturas; tolerancia al nitrito y a altas concentraciones de sal. Además no deben ser patógenos ni producir antibióticos. Tampoco deben degradar los aminoácidos a aminas biógenas ni a SH₂ ni producir peróxido de hidrógeno (Lücke y Hechelmann, 1987).

La aplicación de cultivos iniciadores en la carne está casi exclusivamente confinada a los embutidos crudos curados. Jessen (1995) y Hammes y col., (1998) hacen una revisión del estado actual de las especies usadas en los cultivos iniciadores. Los microorganismos más frecuentemente usados son las bacterias ácido-lácticas (*Lactobacillus*, *Pediococcus*), Cocos GC+ (*Staphylococcus*, *Kocuria*), *Streptomyces*, *Debaryomyces* y *Penicillium*.

Las bacterias ácido-lácticas se usan principalmente para la acidificación y preferiblemente se utilizan cepas homofermentativas. Algunas bacterias ácido-lácticas también tienen la capacidad de reducir el nitrato y nitrito (Hammes y col., 1990). La contribución de este grupo de bacterias a la formación del aroma normalmente se limita al sabor debido al ácido láctico producido, posiblemente en conjunción con pequeñas cantidades de ácido acético. Las condiciones ambientales pueden llevar a un cambio en el tipo de fermentación, resultando en productos finales que pueden influir sobre la formación de aroma. Un exceso de ácido acético puede dar lugar a una acidez indeseable, mientras que la acetoina tiene una influencia positiva, impartiendo un sabor a mantequilla. Las capacidades lipolítica y proteolítica de las bacterias ácido-lácticas se consideran de valor limitado, siendo ésta última muy afectada por concentraciones de NaCl mayores de 3% (Vignolo y col., 1988). No obstante, varios autores han observado que las bacterias ácidolácticas contienen enzimas lipolíticos y proteolíticos que son activos a temperaturas y valores de pH relevantes en la fermentación de embutidos y que estos enzimas podrían tener influencia en el

aroma. Sin embargo es difícil establecer una conexión entre estas actividades y el aroma típico de productos curados (Jessen, 1995). Las bacterias lácticas además del ácido láctico son capaces de producir sustancias inhibitoras como ácidos orgánicos, peróxido de hidrógeno, antibióticos, bacteriocinas, diacetilo y otros productos secundarios (Baxter y col., 1983; Daeschel, 1989; Schillinger y Lücke, 1990; Garriga y col., 1993; Weber, 1994).

Las cepas psicrotólicas *L. sakei* y *L. curvatus* son técnicamente más adecuadas para competir a temperaturas tradicionales de maduración de embutidos, pero debido a su tendencia a producir peróxido de hidrógeno a partir de oxígeno, los mesofílicos *Pediococcus spp* y *L. plantarum* son los organismos preferidos (Lücke y Hechelmann, 1987).

Los efectos de las Cocos GC+ que se desean en productos cárnicos son la formación de color, por su capacidad nitrato reductasa, la estabilidad del color, por su actividad catalasa y la formación de aroma (Jessen, 1995). Se cree que *S. Xylosus* y otros cocos GC+ son de gran importancia para el aroma de embutidos crudos curados (Stahnke, 1999). La temperatura óptima del género *Staphylococcus* es 37° C, existiendo determinadas cepas con una temperatura óptima más baja (Hammes y Hertel, 1998), por lo que son adecuados a las temperaturas bajas utilizadas en la producción de embutidos en el sur de Europa (Jessen, 1995).

Se pueden añadir estafilococos halotolerantes solos o en combinación con bacterias ácido-lácticas para estabilizar y mejorar el color y flavor (Jessen, 1995). Se considera que la actividad proteolítica o lipolítica de cocos GC+ y bacterias ácido-lácticas no es tan importante, como su participación en la formación de determinados compuestos aromáticos, cuyo perfil varía entre especies. Así por ejemplo, los enzimas lipolíticos y proteolíticos tisulares son lo suficientemente activos para proporcionar ácidos grasos y aminoácidos necesarios para el desarrollo del aroma y su importancia es mayor que la de los enzimas microbianos (Hammes y Hertel, 1998). En relación con lo anterior, Montel y col. (1996) observaron que las cepas de estafilococos con menor actividad proteolítica y lipolítica fueron las que produjeron un aroma a embutido curado más intenso. Verplaetse, (1994) atribuyó a la acción de microorganismos el 40 % de la degradación de péptidos a aminoácidos en embutidos fermentados.

Los mohos empleados en cultivos iniciadores no deben tener capacidad toxicogénica. Se utilizan por sus propiedades de: color blanco, amarillento o ébano del micelio; impedir el desarrollo de los mohos toxicogénicos; proporcionar aroma y flavor agradables, debido, en parte, a su actividad lipolítica y proteolítica; dar aroma característico a moho. Este efecto en el aroma se da incluso en el interior del producto, ya que se ha observado que el micelio del hongo puede penetrar en el interior de los embutidos. Otros efectos positivos colaterales pueden ser: reducción

Introducción

de la pérdida de agua debido a la cubierta del micelio; efectos antioxidativos por su actividad catalasa, consumo de oxígeno y penetración reducida del oxígeno a través del micelio (Hammes y Knauf, 1993; Jessen, 1995).

El único género utilizado en cultivos iniciadores es el *Penicillium*, y la especie más frecuentemente usada es *P. nalgiovense*, aunque las especies *P. chrysogenum* y *P. camemberti* también se utilizan (Jessen, 1995).

Las levaduras se utilizan por su acción en el exterior e interior. De ellas la más utilizada es *Debaryomyces hansenii*, especie caracterizada por su alta tolerancia a la sal, alta demanda de oxígeno y la no descomposición del nitrato. Cuando se añade a la mezcla cárnica, su actividad se muestra principalmente en la periferia y el consumo de oxígeno acelera la formación del color exterior y lo estabiliza. Además confiere un aroma deseable en los embutidos de tipo italiano. Los mejores resultados se obtienen si las levaduras se usan en combinación con bacterias ácido-lácticas y micrococos. En superficie proporcionan una cobertura superficial marmórea y un aroma agradable y se pueden usar en combinación con una cepa de mohos (Jessen, 1995).

Los hongos y levaduras normalmente tienen bajos requerimientos nutritivos y son tolerantes a pH y actividad de agua bajos. Algunas cepas de *Debaryomyces* pueden crecer a a_w de 0,87 y los mohos a valores aun más bajos (*A. flavus* a 0,78; *A. ochraceus* a 0,77); el grupo *A. glaucus* tolera la a_w más baja, esto es, representantes del género *Eurotium* pueden crecer a valores de 0,62 (Geisen y col., 1992).

En la bibliografía se ha reseñado la utilización de cultivos iniciadores en jamones alemanes elaborados con salmuera, a la cual se añade el cultivo iniciador (Liepe y Porobic, 1984; Lücke y Hechelman, 1987). En jamones no “inyectados”, es frecuente inocular la salmuera nueva con un 10% de salmuera ya usada o usar la misma salmuera, con la microbiota de curado adecuada, una y otra vez. Sin embargo, los starters comerciales no ofrecen ninguna garantía de mejora de la calidad, ya que no crecen adecuadamente a las bajas temperaturas de salado y no toleran bien la alta concentración de sal inicial. En jamones en los cuales la salmuera es inyectada al interior, se han obtenido buenos resultados en productos de Bulgaria, URSS y la ex-República Democrática de Alemania. Mediante el uso de *P. cerevisiae* (Schiefer y Schöne, 1978) consiguieron acortar el tiempo de fabricación del jamón y mejorar el color curado y el aroma. Según Lücke y Hechelman, (1987) el descenso del pH produciría una disminución de la capacidad de retención de agua y aceleraría el secado. Otra posible acción positiva sería la eliminación de la microbiota indeseable sensible al ácido. Hammes y col. (1998) afirman que *Halomonas elongata* podría ser un buen

candidato para su uso en salmueras para la elaboración de jamón curado, ya que son halofila, psicrófilas y con una fuerte capacidad para reducir el nitrato.

Los efectos de estos microorganismos en el jamón curado (salados en salmuera) se resumen en la tabla 1.3.4. (Lücke y Hechelmann, 1987)

Tabla 1.3.4: Acción de los cultivos iniciadores en jamón curado (primariamente en salmueras de inmersión)

Características de calidad	Modo de acción	BAL	Cocos GC+	Gram - bacts.	Hongos
Color	Reducción de nitrato	-	++	++	-
Aroma	Degradación de proteínas en salmuera	-	++	++	-
	Reducción de nitrato	-	++	++	-
Conservación	Disminución de pH en salmuera	++	-	-	-
	Supresión de bacterias indeseables	+	-	-	-
	Reducción de nitrato	-	++	++	-
Bajo contenido de residuos	Ruptura de nitrito	+	+	+	-
	Prevención de producción de micotoxinas.	-	-	-	++

Por lo que se refiere al jamón curado americano o country-style, Bartholomew y Blumer, (1977a) inocularon, por inyección, un cultivo iniciador que contenía *P. cerevisiae* en este tipo de jamones y no observaron diferencias en sus características sensoriales de flavor, color y textura con los jamones no inoculados, coincidiendo con Marriot y col. (1987b), quienes inocularon jamones con *L. casei* y *L. plantarum*. Sin embargo sí se observó un aumento del velo blanco y una disminución del pH en el interior de los jamones inoculados respecto al control. Esta reducción de pH podría servir para acortar el tiempo de procesado, al disminuir el tiempo de reposo. Marriot y col. (1987a) fabricaron jamones country-style introduciéndolos, antes de la fase de reposo, una dilución de un cultivo de microorganismos aislados de jamones curados. La microbiota así inoculada constaba de un 95 % de *S. aureus*. La inoculación no tuvo efecto consistente en la velocidad de penetración de las sales de curado, ni en las cantidades de nitratos y nitritos. Tampoco se observó ningún efecto en las características sensoriales de flavor, jugosidad o ternura. El único efecto observado fue un ligero aumento del color curado de la carne (tanto antes como

Introducción

después de ser cocinada) evaluada tras 56 días de proceso. Este efecto no se observó a los 73 días de procesado.

Lee y Song (1987) estudiaron los efectos de la inoculación de un cultivo mixto de *P. pentosaceus* y *Micrococcus violagabriella* en jamón coreano y tras 4 meses a 27 °C y 65-90 % de humedad relativa dio lugar a un incremento de nitrógeno amino libre y a una reducción del pH.

Respecto a la aplicación de los cultivos iniciadores en el jamón curado español, no se tienen noticias de su uso, al menos cultivos seleccionados y diseñados específicamente para este producto. La utilización de microorganismos contrastados desde el punto de vista sanitario y tecnológico como cultivos iniciadores en el jamón curado español podría contribuir a obtener un producto final con mayor seguridad y/o calidad sensorial (Núñez, y col., 1998).

La capacidad de reducir los nitratos, junto con la tolerancia a la sal, nitritos y bajas temperaturas son requisitos de las futuras cepas utilizadas como cultivos iniciadores en el jamón curado (Lücke y Hechelman, 1987). Algunos autores (Carrascosa y Cornejo, 1991b; Cornejo y Carrascosa 1991) destacan las propiedades de la actividad catalasa y nitrato reductasa de los cocos GC+. La primera podría proteger a los jamones frente a defectos de color a la vez que prevenir problemas de rancidez y la segunda podría acelerar el desarrollo del color curado. Según este autor, otra posible contribución podría ser también su antagonismo a bacterias indeseables que causan defectos durante el proceso y que podrían representar un riesgo para la salud del consumidor. Estas propiedades, junto a la capacidad para crecer lentamente a 4°C y en presencia de altas concentraciones de cloruro sódico las hacen candidatos sólidos para cultivos iniciadores en la fabricación de jamón curado. Procesos que incluyan etapas en la que se alcancen temperaturas por encima de los 30°C durante más de un mes, serían las idóneas para inocular cepas de cocos GC+ seleccionadas por sus aptitudes tecnológicas dentro del grupo mayoritario de microorganismos con el fin de ejercer un control microbiológico del proceso. Así, tal vez sería posible evitar las pérdidas por cala de origen microbiológico y conseguir unas características constantes en el producto acabado (Carrascosa y col., 1989).

Tsvetkov y col. (1989) estudiaron el efecto de la inoculación, por frotado, de un cultivo iniciador de *L. Plantarum* y otro mixto de esta especie con *M. Varians* en filetes de *Longissimus dorsi* salados con un 3,5 % de sal y madurados durante 16 días, periodo tras el cual el contenido de humedad de las muestras fue del 46,80 %. Estos autores llegaron a la conclusión de que la adición de estos cultivos aceleró el proceso de madurado, expresado en una disminución de la capacidad de retención de agua y un incremento de las cantidad de proteínas extraíbles y de

grupos –SH accesibles. Los cambios fueron mayores en el cultivo mixto, coincidiendo con Lücke and Hechelmann (1987) y no afectaron a las proteínas sarcoplásmicas.

Johansson y Borch (1993) estudiaron los efectos de la temperatura, concentración de sal y anaerobiosis sobre la actividad lipolítica y proteolítica de *L. pentosus*, *P. pentosaceus* y *S. xylosum* en sistemas modelo formados por una mezcla de carne, grasa, sal, glucosa, nitritos y ascorbato esterilizados, inoculados seguidamente y almacenados durante 19 días. Las tres bacterias mostraron actividad lipolítica, aunque sólo la de los dos primeros fue afectada por la temperatura (a 30°C fue mayor que a 18°C), mientras que la del tercero no se vio afectada por ningún factor ambiental estudiado. Respecto a la actividad proteolítica, esta fue mayor en *L. pentosus* y menor en *S. xylosum*. y estuvo influida por los tres factores estudiados, excepto en el caso de *S. xylosum*, al cual no le afectó la concentración de sal. La mayor proteólisis se observó en anaerobiosis, a la temperatura mayor y concentración de sal menor (2,9 frente a 6,5% de sal en agua).

Hammes y col. (1998) sugieren el uso de *S. equorum*, especie que se ha detectado en jamón ibérico, en cultivos iniciadores, ya que crece bien a temperaturas inferiores a 10°C (Rodríguez y col., 1994) y podría actuar como microorganismo competidor de cepas enterotoxigénicas, algunas de las cuales, como por ejemplo de *S. xylosum*, se han hallado en jamón ibérico (Rodríguez y col., 1996).

Núñez, y col. (1998) señalan a *P. chrysogenum* 222 como posible componente de cultivos iniciadores ya que mostró una gran actividad proteolítica en filetes de carne y no mostró toxicidad alguna en diversos bioensayos (Núñez y col., 1996b). Por estos mismos motivos también se podrían utilizar las cepas de *S. xylosum* examinadas, máxime cuando su actividad podría desarrollarse en etapas anteriores a la de los mohos.

Boadas y col (2000) aplicaron un starter comercial en la superficie de jamones tras el lavado y examinaron los efectos de la tenderización y la adición de azúcares sobre la acción de los microorganismos inoculados. La aplicación del cultivo ocasionó una inhibición del desarrollo de hongos y una aumento del sabor ácido, probablemente debido al desarrollo de levaduras y bacterias ácido-lácticas respectivamente y estos efectos se reforzaron por la tenderización y la adición de dextrosa.

Martín y col, (2000), en cambio, utilizaron microorganismos aislados de jamón curado en lugar de cultivos comerciales. Tras el salado, inocularon cepas de *D. hansenii* y *P. chrysogenum* en jamón blanco sometido a 12 meses de procesado y observaron una mayor proteólisis miofibrilar y mayor cantidad de aminoácidos libres, mientras que las proteínas sarcoplásmicas no se vieron afectadas. Respecto a los volátiles, la inoculación causó una disminución de aldehidos

Introducción

ramificados y alcoholes ramificados y aromáticos, así como un aumento de la concentración de ésteres. Por lo que se refiere a las características sensoriales, los jamones inoculados tenían una grasa menos amarilla y menos rosada, eran menos duros, secos y con menor aroma a tostado, por lo que su aceptabilidad fue mayor. Como los jamones control no eran estériles, los cambios ocasionados por la inoculación pudieron ser originados directamente por los microorganismos inoculados o bien como consecuencia de la inhibición de otros microorganismos. Posteriormente, se seleccionó el enzima EPg 222 de *P. chrysogenum* por su alta actividad proteolítica y se consiguió su expresión en *D. hansenii*, obteniéndose así una levadura de alta capacidad proteolítica que se puede utilizar como cultivo iniciador y que tiene las ventajas respecto al moho de ser capaz de crecer en toda la masa cárnica, y desde el inicio del procesado y no sólo en superficie y únicamente a partir del comienzo de la etapa de secado, como sucede con los mohos en general (Córdoba, 2001).

1.3.6.5. pH

Buscaillon y col., (1994b), Arnau y col., (1998) y Guerrero y col., (1999) hallaron una menor proteólisis a pH altos y lo atribuyeron a varios factores: al hecho de que la actividad de las catepsinas es máxima a pH entre 4 y 5,5, a que el pH más bajo favorece la liberación de los enzimas de los lisosomas y a que un pH bajo podría alterar la estructura de la miofibrilla y hacer que las proteínas sean más accesible para las enzimas. Sin embargo Arnau y col., (1998) y Guerrero y col., (1999) registraron mayor brillo, desmenuzabilidad, pastosidad, adhesividad y menor dureza en jamones con pH alto (carne DFD) a pesar de tener un contenido en NNP más bajo y una menor actividad de las catepsinas D, B y B+L. Estas diferencias se atribuyeron a un mayor nivel de humedad y un mayor grado de extractibilidad y funcionalidad de las proteínas de la carne de alto pH. En este caso, la pastosidad no se correlacionó con el nitrógeno no proteico, aunque sí con el contenido acuoso y el brillo podría estar relacionado con la hidratación de las proteínas. Guerrero y col., (1999), observaron que los efectos del pH sobre la textura fueron menores en el músculo SM que en el BF, ya que el primero se ve más influenciado por factores externos y el tipo de corte. Además en el SM al inicio del proceso hay una mayor relación sal/agua, que provoca una pérdida de funcionalidad de proteínas, lo que puede enmascarar el efecto del pH. Por otro lado Arnau y col., (1998) observaron que un pH mayor de 6,2 favorece la migración de fosfato al exterior del jamón y una mayor humedad en el producto final, posiblemente por la mayor capacidad de retención de agua.

Tabilo y col., (1999) no observaron diferencias importantes en los parámetros instrumentales de textura entre jamones ibéricos normales y DFD.

El pH más bajo favorece la lipólisis, debido a que las fosfolipasas lisosómicas tienen un pH óptimo entre 4 y 5. Además un pH menor podría favorecer el aumento de la cantidad de calcio ionizado, el cual activa las fosfolipasas de los microsomas y membranas plasmáticas (Buscailhon, 1994b). Asimismo, provoca un aumento de la concentración de algunos volátiles (aldehídos y cetonas principalmente) y de la firmeza, ternura y sequedad, de manera que la intensidad de estos atributos en carnes de pH bajo tras 180 días de procesado fue similar a la que tenían los jamones de pH superior a 6,1 al final del proceso. Estos resultados concuerdan con los hallados por Buscailhon y col., (1995), los cuales obtuvieron que altos niveles de glucógeno y ácido láctico y bajos valores de pH del producto final favorecen las características típicas de productos más madurados: una textura más seca, sabores más intensos de carne curada y de jamón curado e intensidades menores de carne fresca y grasa, así como una menor homogeneidad del color.

1.3.6.6. Uso de atmósferas modificadas

Aunque existen varias publicaciones sobre el envasado del producto terminado en vacío (Arnau y Casademont, 1987; Hugas y Garriga, 1987; Kemp y col., 1988; Ng y col., 1997; Garriga y col., 2002) o atmósfera modificada (Palmia y col., 1995), no hay constancia del estudio de la aplicación de una atmósfera de contenido reducido de oxígeno durante el secado del jamón curado, si bien, recientemente, Grupa (1998) ha propuesto esta práctica.

El secado en atmósfera de N₂ podría evitar el crecimiento fúngico y eliminar al mismo tiempo la problemática que generan los ácaros, obteniendo como resultado un jamón de mayor seguridad. Además la elaboración de un jamón sin crecimiento de hongos y ácaros haría innecesario el uso de pesticidas.

Se ha comprobado que la aplicación de una atmósfera de nitrógeno durante 3 días causa la desaparición de las formas móviles de los ácaros (Guerrero y Arnau, 1995). Una baja concentración de oxígeno si bien frena el crecimiento de los microorganismos aerobios, puede favorecer el crecimiento de anaerobios y microbiota microaerófila, con lo cual se precisa un control de las condiciones de superficie para poder efectuar un proceso de secado con suficientes garantías de éxito.

1.4. ASPECTOS DE SALUBRIDAD DEL JAMON CURADO

1.4.1. MICROORGANISMOS Y ÁCAROS

Normalmente, el nº de bacterias patógenas presentes en el jamón curado al final del proceso es muy bajo como para representar un riesgo para el consumidor, ya que los niveles de actividad de agua habituales en el producto acabado son inhibitorios para la mayoría de los microorganismos de riesgo higiénico sanitario (Carrascosa y col., 1989; Silla y col., 1989; Marín y col., 1993; Hernández y Huerta, 1993; Sanabria y col., 1997). Marín y col. (1992) no hallaron *Salmonella*, clostridios sulfito reductores ni *C. perfringes* en jamones defectuosos.

Una bacteria que podría representar un peligro potencial es *L. monocytogenes* ya que es capaz de crecer en condiciones de altas concentraciones de sal y temperaturas de refrigeración (Luchansky y Doyle, 1991). Si bien durante el procesado del jamón se ha registrado una disminución en sus recuentos de hasta 5 unidades logarítmicas (Reynolds y col. (2001), la contaminación del jamón durante las operaciones de loncheado podría constituir un peligro por el crecimiento posterior de esta bacteria, especialmente si el jamón tiene una cantidad reducida de sal o un grado de secado insuficiente (Sánchez-Molinero, 2003).

Respecto a los riesgos asociados a la presencia de bacterias toxicogénicas en el jamón, Marín y col (1992) aislaron las cepas de *S. aureus* de jamones curados blancos normales y defectuosos en diversas etapas del proceso y la mayor parte eran enterotoxigénicas, siendo el número de estas cepas mayor en jamones de curado lento. Sin embargo, no se detectaron cepas de *S. aureus* en ningún producto final, coincidiendo con otros autores. Esto se podría deber a que esta bacteria no se multiplicó en el jamón curado durante el proceso de curado, porque las condiciones no permitieron su desarrollo. Sin embargo, Untermann y Müller (1992) observaron que, en producto terminado inoculado con *S. aureus* y almacenado durante una semana, este patógeno fue capaz de producir la enterotoxina cuando la a_w era 0.92 y la temperatura superior a 20 °C, y cuando la a_w era 0.89 y la temperatura 35 °C.

Se han detectado cepas enterotoxigénicas de *S. xylosum* (Rodríguez y col., 1996; García y col., 2003) y de *S. epidermidis*, y *S. cohnii* (García y col., 2003) en jamón ibérico. Para prevenir su presencia en jamón curado, Hammes y col. (1998) sugieren el uso de *S. equorum* en cultivos iniciadores como microorganismo competidor.

La microbiota fúngica que se desarrolla en el jamón no es controlada, y por ello la formación de micotoxinas durante el proceso puede representar un peligro potencial para los consumidores (Leistner, 1985). Según Hoffman (1985) aproximadamente el 75 % de los hongos del género *Penicillium* aislados de productos cárnicos pueden producir micotoxinas en un sustrato apropiado. Leistner y Eckardt (1981) aislan las siguientes micotoxinas de productos cárnicos: aflatoxina, Brevianamida A, Citreoviridina, citrinina, ácido ciclopiazónico, Fumitremorgen, Griseofulvina, Ochratoxina A, Rugulosina, Sterigmatocistina y Verruculogeno TR1. Según Ayres y col., (1974) es posible encontrar aflatoxinas, ochratoxinas, sterigmatocistina y citrinina en productos crudos curados. El hecho de que el jamón curado no sea un sustrato apropiado para la producción de algunas micotoxinas en niveles altos, no elimina los riesgos. Así, *Penicillium* y *Aspergillus* tienen capacidad para producir micotoxinas en cantidades apreciables en jamones americanos (Escher y col., 1973; Wu y col., 1974).

Leistner (1984) demostró que de 15 micotoxinas que se formaron en un medio de cultivo, 10 también se formaron cuando las especies fúngicas crecieron en embutidos o jamón curado. Halls y Ayres (1973) aislaron *Aspergillus versicolor* de jamón curado capaces de producir esterigmatocistina, tres de las cuales son capaces de producir la toxina en el jamón. Wu y col., (1974) estudian 89 cultivos aislados de *Aspergillus* y 54 cultivos de *Penicillium* aislados de productos curados, en los que se produjeron micotoxinas 2 de 22 *A. ruber*, 5 de 28 *A. repens*, 2 de 12 *A. sydowi*, 1 de 12 *A. restrictus*, 2 de 7 *A. amstelodami*, 1 de 2 *A. chevalieri*, 1 de *A. fumigatus*, 2 de 15 *P. expansum*, 1 de 3 *P. notatum*, 1 de 2 *P. brevicompactum* y 1 de 8 *Penicillium* spp. Escher y col., (1973) encontraron 2 cepas de *A. ochraceus* capaces de producir ochratoxina A en el jamón curado. Después de 21 días de incubación en el jamón, un tercio de la toxina se encontró en la superficie y 2/3 habían penetrado hasta 5 mm de profundidad. Bullerman y col. (1969) encontraron que *A. flavus* y *A. parasiticus* pueden crecer y producir aflatoxinas en jamón curado durante el proceso de curación. En jamones americanos, la producción de micotoxinas tiene lugar al aumentar la temperatura entre 20 y 30 ° C y cuando la humedad del jamón es todavía elevada (Ayres y col., 1974)

Por lo que se refiere al jamón curado español, la presencia de hongos en la superficie del jamón es una característica típica de los mismos y varios autores han detectado especies toxigénicas en ellos. Así, Rojas y col., (1991) detectaron *A. flavus* toxigénicos en jamón, pero no estudiaron si habían formado toxinas en el jamón. Sin embargo, tras inocular *A. parasiticus* en jamones, sí detectó la formación de aflatoxinas a 25 y 30°C, aunque en bajas cantidades (1,73 y 0,72 µg/kg respectivamente). De hecho, para estos autores, la presencia de mohos en el jamón

Introducción

curado no constituye un riesgo para la salud. Núñez y col. (1996b) detectaron una actividad tóxica de la mayoría de hongos aislados de jamón ibérico (*Penicillium* y *Eurotium*, mayormente) a lo largo de todo el proceso. *Penicillium polonicum* aislado de jamón curado produjo verrucosidina en medios de cultivo con una a_w de 0,97 (Núñez y col., 2000) y *Penicillium commune* también aislado de jamón produjo ácido ciclopiazónico a una a_w de 0,90 (Sosa y col., 2002). Estas dos mismas especies, inoculadas en el jamón, llegaron a producir toxinas en el mismo (Díaz, 1999).

La preocupación por la presencia de micotoxinas en los alimentos ha ido creciendo. Así, la legislación europea ha ido modificándose en los últimos años para incluir nuevos alimentos que deben ser controlados y ampliando el número de micotoxinas a detectar. Asimismo es previsible que aumenten las micotoxinas y alimentos para los que se establecerá un límite máximo y/o que la ausencia de microorganismos toxicogénicos sea un criterio de importación en algunos países (Núñez y col., 2003)

Como la exclusión total de los hongos del jamón, además de ser difícil de conseguir, podría afectar la calidad y carácter del producto, el uso de cepas de hongos no tóxicos como cultivos iniciadores podría ser el método más efectivo para minimizar los riesgos a la salud pública debidos al crecimiento de hongos micotóxicos (Núñez y col., 1996). No tenemos constancia del uso de microorganismos seleccionados en la superficie del jamón curado, debido probablemente a las condiciones específicas del proceso de elaboración, aunque en el futuro se espera que la legislación requiera cepas bien caracterizadas y no toxigénicas para la maduración de este producto (Jessen, 1995).

No obstante, además de la producción de toxinas, la presencia de hongos presenta otro inconveniente: su posible efecto nocivo en el sistema respiratorio. En un estudio realizado en una fábrica de embutidos y jamones, Palmas y Meloni (1997) hallaron esporas de *Penicillium*, *Aspergillus*, *Candida*, *Mucor*, y *Cryptococcus* tanto en el ambiente, como en el tracto respiratorio superior de los trabajadores. La exposición a la inhalación continuada de estas esporas, puede constituir un riesgo potencial para la salud. Así, por ejemplo, ha causado alveolitis alérgica en humanos en contacto frecuente con un ambiente cargado de esporas (Malmberg y col., 1993).

Para frenar el crecimiento de los hongos de cobertura se utilizan con frecuencia conservadores (parabenos, ácido sórbico, sorbato potásico y ácido benzoico) y para el control ambiental parahidroxifenilsalicilamida. La eficacia de los conservadores decrece con el tiempo y pueden afectar negativamente a las características sensoriales del jamón (Arnau y García-Regueiro, 1987). El uso de cultivos iniciadores no fúngicos ha evitado el crecimiento superficial

de mohos, aunque también produjo cambios en las características sensoriales, alguno de los cuales no fueron positivos (Boadas y col., 2000).

Por otro lado, la ausencia de hongos, también podría repercutir positivamente sobre los ácaros en el jamón, causando una disminución de su presencia al verse privados de su principal alimento. Los ácaros, además de constituir un problema estético, también pueden representar un problema para la salud, ya que pueden causar alergias en aquellas personas sensibles (Lorenzo y Flores, 1988). Además, la práctica frecuentemente empleada del uso de pesticidas y plaguicidas para eliminar los ácaros de los secaderos supone un peligro para el consumidor. El uso de estas sustancias sobre el jamón está prohibido (Acha y col., 1994).

1.4.2 PRODUCTOS DE OXIDACIÓN

Aparte de los efectos sobre la vida útil y el aroma, la formación de compuestos de oxidación en carnes y productos cárnicos está recibiendo una atención creciente por su implicación en la salud. Los hidroperóxidos alteran las vitaminas y la hemoglobina, inhiben algunos enzimas, oxidan los grupos $-SH$, pueden producir lesiones patológicas en el aparato digestivo y se cree que sensibilizan la acción de ciertos carcinógenos (Arnau, 1987b). También inducen la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDL), lo cual está reconocido como un paso importante en la iniciación de la formación de placas aterogénicas (Landbo y Meyer, 2001).

Los productos de oxidación del colesterol (COPS) también tienen actividades biológicas adversas. Los COPS constituyen un grupo de más de 60 compuestos, algunos de los cuales exhiben efectos severos en vivo como angiotoxicidad, aterogénesis, mutagénesis y carcinogénesis. Los efectos biológicos han sido revisados por Finocchiaro and Richardson (1983), Peng y Taylor (1984), Börsinger y col., (1993) y Paniangvait y col., (1995). De particular interés son el β -epoxi-colesterol (colesterol 5α - 6α - epóxido), relacionado con lesiones aterosclerosis y carcinogenesis (Finocchiaro y col., 1984; Tsai y Hudson, 1984), el 25-hidroxicolesterol (5-colesten- 3β -25-diol) y el colestetriol (colesten- 3β - 5α - 6β -triol), ambos citotóxicos y angiotóxicos (Park y Addis, 1986; Nourooz-Zadeh y Appelquist, 1987; Zhang y col., 1991; Paniangvait y col., 1995).

Maraschiello (1998) hizo una revisión de las formas moleculares de los principales COPS y las vías de formación, entre las cuales se incluye la autooxidación. El primer paso de la autooxidación, esto es, la abstracción de un hidrógeno del carbono C7, puede favorecerse por la presencia de radicales de hidroperóxidos resultantes de la oxidación de ácidos grasos.

Introducción

Vestergaard y Parolari (1999) analizaron el contenido de 5 COPS en jamón de Parma y hallaron que, individualmente, el contenido de cada uno en el magro no superó el nivel de 1 mg/kg, que es el valor a partir del cual se considera de riesgo para el consumo humano (Paniangvait y col. 1995). Sin embargo este nivel sí se superó en la grasa subcutánea. Este hallazgo refuerza la utilidad del hábito de gran parte de los consumidores de desechar esta porción de la loncha de jamón previamente a su consumo.

No tenemos constancia de estudios publicados sobre el contenido de COPS en los jamones españoles, a pesar de que en los mismos, la intensidad de la oxidación lipídica es importante y algunas sustancias que derivan de ella son en buena parte responsables de su flavor característico (Dirinck y col., 1997; Sabio y col., 1997).

El objetivo de la presente tesis doctoral es la evaluación de posibles modificaciones en la tecnología de fabricación del jamón curado español con el objeto principal de mejorar su seguridad y calidad sensorial. En concreto las variables tecnológicas introducidas son:

- I. Inoculación de un cultivo iniciador mixto en la superficie del producto para mejorar el flavor del jamón y reducir el crecimiento de mohos en la superficie, algunos de los cuales son potenciales productores de micotoxinas, las cuales pueden afectar negativamente a la salud del consumidor.

- II. Envasado del jamón en vacío durante la etapa de reposo con el objeto de favorecer el crecimiento de cultivos microbianos y reducir el desarrollo de los mohos. Además de esta manera se ahorraría energía, al no ser necesario el control de la humedad relativa de la sala donde se efectúe el reposo y también espacio, al no ser necesario el colgarlos desde el inicio de esta etapa. Esta modificación tecnológica podría considerarse una simulación del procesado de ciertas empresas españolas, en las cuales los jamones se mantienen apilados durante 4 o 5 semanas después del primer salado, con lo que algunos de ellos permanecen totalmente cubiertos por la salmuera producida por el exudado de los propios jamones.

- III. Aplicación de una atmósfera modificada con un contenido reducido de oxígeno para evitar o reducir el crecimiento de mohos, ácaros y la producción de óxidos de colesterol, así como para evaluar la importancia de la oxidación lipídica en el desarrollo de las características sensoriales del jamón.

- IV. Aplicación repetida de pequeñas cantidades de grasa dorsal líquida sobre la superficie del jamón con el objeto de mejorar su textura y su flavor, evitar la coquera y el acortezamiento. La información obtenida podrá ayudar a evaluar la importancia del fenómeno de la impregnación de la grasa fundida sobre la superficie del jamón, fenómeno conocido popularmente como “sudado” del jamón.

Objetivos

- V. Realización de un estufaje corto (de 4 días de duración) a 35°C para mejorar algunas propiedades sensoriales del jamón y para disminuir algunos defectos asociados al uso prolongado de altas temperaturas.

Asimismo este trabajo de investigación también pretende ayudar a responder algunos interrogantes relacionados con la importancia relativa que sobre las características sensoriales del jamón tienen la materia prima, los procesos físicos, los cambios químicos y la acción microbiana.

En esta tesis doctoral se llevaron a cabo 4 pruebas independientes, existiendo procedimientos comunes y otros específicos para cada prueba determinada. Dichas pruebas fueron:

- Prueba con cultivo iniciador y reposo en vacío (Prueba 3.1.1.).
- Pruebas de procesado en atmosfera modificada:
 - Procesado en atmósfera modificada. 1ª prueba (Prueba 3.1.2a).
 - Procesado en atmósfera modificada. 2ª prueba (Prueba 3.1.2b).
- Prueba con estufaje corto y aplicación de grasa (Prueba 3.1.3.).

3.1. PROCESADO DE JAMONES

Procedimiento general

En cada prueba, se utilizaron un número determinado de parejas de jamones sin pata y con la corteza parcialmente extraída (“corte en V”), cada pareja proveniente de la misma canal, con un peso de $9,5 \pm 1$ Kg y con $\text{pH} < 6,2$ en el músculo *Semimembranosus*. Las piezas se adquirieron en una sala de despiece comercial dentro de las 8 horas *post-mortem*. Los jamones se asignaron a los diferentes tratamientos o procesos de manera que éstos quedaran equilibrados en pH y en peso.

Después del despiece, se almacenaron 48 horas en una cámara a 2-4 °C, se realizó un presalado, frotando los jamones de forma manual con 35 g de NaCl, 0,30 g de KNO₃ y 0,15 g de NaNO₂ por cada Kg de jamón. Tras cubrir la parte magra de las piezas con la sal no adherida, y dependiendo del diseño experimental, éstos se colocaron individualmente en bandejas con una ligera inclinación para que escurriera el exudado, o bien se envasaron individualmente en bolsas de plástico (Cryovac BB4-L, W.R. Grace & Co) y se colocaron horizontalmente en la misma sala. Este envasado fue, según el diseño experimental correspondiente, de tres maneras: al vacío, en atmósfera de aire o en atmósfera modificada (AM) con concentraciones de N₂ y O₂ de $99,8 \pm 0,1$ y $0,1 \pm 0,1$ respectivamente.

Material y métodos

Para obtener la AM, se usó una envasadora y se introdujo un absorbedor de oxígeno (Tyvek LH1000, ATCO) en un molde pequeño dentro de cada bolsa. Para asegurar el mantenimiento de la AM dentro de la bolsa, el contenido de oxígeno en el interior de las bolsas se midió a las 24 horas posteriores a cada envasado, así como antes de ser abiertas. La concentración de oxígeno se midió mediante un analizador de oxígeno (Abiss, modelo PAK 01P) con una precisión del 0,1 %, el cual se calibró diariamente con el aire ambiental (20,9 % de oxígeno). Las muestras de los gases del interior de las bolsas se extrajeron mediante una aguja colocada en el conducto de entrada de gas del analizador, para lo cual se perforaron las bolsas a través de una cinta adhesiva adherida a las mismas.

Al cabo de cinco días se repitió la operación de frotado anterior, utilizando otros 30 g de sal por Kg de jamón junto con la sal añadida en el primer frotado que no había sido absorbida por el jamón. Las piezas se dejaban en las mismas condiciones anteriores (de temperatura, humedad, envasados o no) durante 16 días.

Al finalizar esta fase de salado los jamones fueron lavados con agua fría y, según el diseño experimental, permanecieron envasados o colgados al aire durante la etapa de reposo posterior.

En la etapa de secado, los jamones permanecieron colgados en carros de manera que la parte magra de cada jamón estuviera encarada a la parte magra de su pareja a una distancia aproximada de 5 cm, en secaderos normales y de 2 cm en los minisecaderos (de 2 m³, ver apartado 3.1.2), intentándose bloquear el posible efecto que pudiera tener la posición del jamón en los carros. En este periodo, la humedad se fue disminuyendo y la temperatura aumentando paulatinamente.

En diferentes puntos del proceso se realizaron análisis físicoquímicos, microbiológicos y sensoriales (olor y aspecto). Asimismo, periódicamente se realizaron medidas de las dimensiones, del color de la grasa y controles de la pérdida de peso. Cuando la merma se situó alrededor de un 36 ± 3 % respecto al peso en fresco, el proceso se consideró terminado y se procedió a la toma de muestras para los análisis pertinentes en el producto final.

Cada prueba se llevó a cabo siguiendo un diseño experimental equilibrado de bloques incompletos de manera que se pudo evaluar el efecto del factor canal sobre cada parámetro estudiado.

En los apartados siguientes 3.1.1., 3.1.2. y 3.1.3. se indican, para cada una de las 4 pruebas, las variaciones a este procedimiento general de fabricación de jamones así como las condiciones de procesado y el esquema de los análisis llevados a cabo.

3.1.1. PRUEBA CON CULTIVO INICIADOR Y REPOSO EN VACÍO

18 parejas de jamones siguieron el proceso general, mencionado en el apartado anterior, con las particularidades siguientes:

- (a) El espesor de grasa subcutánea de los jamones (medido bajo el músculo BF en la parte central del jamón) era de 2,5 cm.
- (b) En el primer frotado, además de la sal, nitratos y nitritos, también se utilizaron 5 g de dextrosa por Kg de jamón.
- (c) Durante la etapa de salado, todos jamones permanecieron envasados al vacío en bolsas de plástico (Cryovac BB4-L, W.R. Grace & Co.).
- (d) Los jamones se asignaron a distintos tratamientos o procesos siguiendo el diseño experimental (tabla 3.1.1). Tras el lavado, los jamones de los procesos S y SV (en adelante denominados jamones S y jamones SV respectivamente) fueron frotados, en su superficie magra, con 0,1 g/Kg de un cultivo iniciador mixto comercial (Elce 10, RP Texel, Groupe Rhone-Poulenc) y los jamones de los procesos V y SV (jamones V y jamones SV) fueron envasados de nuevo al vacío. Este cultivo iniciador se utiliza en la producción de embutidos y contenía cepas de *Lactobacillus sakei*, *Pediococcus pentosaceus*, *Staphylococcus xylosum*, *Staphylococcus carnosus* y *Debaryomyces hansenii*.
- (e) Los jamones que habían permanecido envasados al vacío durante el reposo, sufrieron un secado inicial a 15 ± 1 °C y una humedad relativa del 40 al 50 % durante 24 horas, para facilitar el secado superficial.

Material y métodos

Tabla 3.1.1. Diseño experimental de la prueba con cultivo iniciador y reposo en vacío (Prueba 3.1.1.).

Proceso	Cultivo	Vacío	JAMONES ASIGNADOS A CADA PROCESO ^{1, 2, 3}															
SV	SI	SI	1i	2d	<u>3i</u>	4d	5i	<u>6d</u>	7i	<u>8d</u>	<u>9i</u>							
S	SI	NO	1d	2i	<u>3d</u>				10i	<u>11d</u>	<u>12i</u>	13d	14i	<u>15d</u>				
V	NO	SI				4i	5d	<u>6i</u>	10d	<u>11i</u>	<u>12d</u>			<u>16i</u>	17d	<u>18i</u>		
C	NO	NO							7d	<u>8i</u>	<u>9d</u>		13i	14d	<u>15i</u>	<u>16d</u>	17i	<u>18d</u>

¹Jamones con un mismo número provienen de la misma canal. ²i: pata izquierda; d: pata derecha. ³ Los jamones subrayados se utilizaron para los análisis microbiológicos y el resto para los análisis físico-químicos.

En la tabla 3.1.2 se recogen las condiciones de temperatura y humedad en las que permanecieron los jamones en las diferentes etapas y en la tabla 3.1.3 se muestran los análisis físicoquímicos, microbiológicos y sensoriales efectuados a lo largo del proceso.

Tabla 3.1.2. Condiciones de procesado de los jamones correspondientes a la prueba con cultivo iniciador y reposo en vacío (prueba 3.1.1.)

Etapas	Duración (días)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
Salado(SD) ¹	21	2-3	-
Reposo (R) ²	39	2-3	75-85
Secado 1 (S1) ³	30	14-16	70-80
Secado 2 (S2)	75	16-18	70-80
Secado 3 (S3)	45	20-22	70-80
Secado 4 (S4)	30	23-25	60-70
Secado 5 (S5)	40	23-25	50-60
Secado 6 (S6)	30	25-27	40-50

¹Todos los jamones permanecieron envasados al vacío ²El intervalo de humedad relativa indicado se aplicó a los jamones que no permanecieron envasados al vacío en la etapa de reposo. ³Los jamones V y SV permanecieron el primer día de la etapa S1 a una humedad relativa de 40-50 %.

Tabla 3.1.3. Análisis realizados a lo largo de todo el procesado de los jamones y en el producto final (prueba 3.1.1.).¹

Días de proceso	Etapa	Análisis Físico-Químicos	Análisis Microbiológicos	Análisis sensorial
21	SD (fin)	-	Superficial (escobillón) En <i>Gracilis</i> y <i>Adductor</i>	-
60	R (fin)	-	Superficial (escobillón) (<i>Gracilis</i> y <i>Adductor</i>)	-
120	S2	-	Superficial (escobillón en <i>Gracilis</i> , carne en <i>Adductor</i> y grasa dorsal)	-
210	S3	-	-	Visual, olor
305	S6	-	-	Visual, olor
310	Producto Final	NNP, NT, a_w , NaCl, Humedad, perfil pH (músculos SM, BF)	En profundidad (músculos RF, ST)	Aspecto al corte. Flavor, textura (SM, BF)

¹ Los jamones elegidos para los análisis físico-químicos y microbiológicos, se indican en la tabla 3.1.1. Los análisis de color y sensoriales se realizaron sobre todos los jamones.

3.1.2. PRUEBAS DE PROCESADO EN ATMÓSFERA MODIFICADA.

En las dos pruebas en las que se aplicó una atmósfera modificada, se elaboraron jamones que permanecieron en atmósfera de aire y/o en atmósfera modificada (AM) de nitrógeno con concentración reducida de oxígeno. En la figura 3.1.1 se muestra, para cada tratamiento, las etapas que tuvieron lugar en aire y en las que se aplicó la atmósfera modificada.

Para la obtención de la AM durante el salado, ver apartado 3.1. A los jamones con salado en atmósfera de aire, antes de que las bolsas que los contenían fueran selladas, se les hizo sufrir un vacío similar al que sufrieron aquéllos con salado en atmósfera de nitrógeno. Con esta acción se pretendía bloquear el posible efecto que el vacío que sufren las piezas al ser envasadas en atmósfera modificada pudiera tener sobre las mismas.

Material y métodos

Figura 3.1.1. Etapas del proceso en atmósfera de aire (sin sombrear) y en AM (sombreada) en cada tratamiento¹.

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Control
Salado	Salado	Salado
Reposo	Reposo	Reposo
Secado A	Secado A	Secado A
Secado B	Secado B	Secado B

¹El periodo de secado B corresponde a los últimos 75 días de la etapa de secado y el periodo de secado A al resto de la etapa.

Durante las etapas de reposo, secado A y secado B, los jamones permanecieron en dos secaderos de unos 2 m³ de capacidad, uno de los cuales (secadero A) funcionó con aire y el otro (secadero AM) estaba modificado para funcionar con AM, para lo cual disponía de un tubo de acero por el cual se podía introducir nitrógeno accionando una llave de paso. Para obtener una concentración de O₂ reducida, se introdujeron 300 absorbedores de oxígeno (Tyvek LH3000, ATCO) y se hizo un barrido con Nitrógeno (Nitrógeno Industrial, Carburos Metálicos) a un caudal de unos 25 litros/minuto, para reducir rápidamente la concentración de oxígeno al 0,2-0,3 % a la vez que se sellaron las puertas y juntas con silicona. Durante el barrido, el nitrógeno circuló, a través de un tubo, desde la bombona que lo contenía a un recipiente de acero con agua saturada de sal, donde burbujeaba para lograr su humectación, y de aquí, a través de otro tubo, llegaba a la llave de paso de entrada al secadero. A su vez, los gases barridos salían del secadero por un tubo de acero inoxidable en forma de U invertida, cuyo extremo exterior permanecía durante todo el proceso continuamente introducido en un vaso con agua hasta un nivel de unos 3 mm para impedir la entrada de aire. Este procedimiento de obtención de la AM, se repetía cada vez que se abría el secadero para realizar los análisis y controles periódicos a los jamones. La permeabilidad del secadero era tal que entraban unos 15-30 litros de aire diarios. Para mantener los niveles reducidos de oxígeno, se mantuvo el nivel adecuado de agua en el vaso, se realizó un análisis diario de la concentración de oxígeno y, cuando era necesario (normalmente cada uno o dos días), se introducía Nitrógeno a un caudal de 3-6 litros/ minuto para reducir la concentración de O₂ (normalmente hasta llegar a concentraciones de 0,3-0,8 %).

Para el análisis del O₂ del interior del secadero, el conducto de entrada se conectaba, por una llave de paso, a un tubo que salía del secadero por el interior del tubo en forma de U.

3.1.2a. Procesado en atmósfera modificada. 1ª prueba

9 parejas de jamones siguieron el proceso general, con las particularidades siguientes:

- a) El espesor de grasa subcutánea medio de los jamones era de 2,2 cm.
- b) Los jamones fueron asignados a los tratamientos C y 1 (ver figura 3.1.1) según el diseño experimental expuesto en la tabla 3.1.4.
- c) Durante el periodo de salado, los jamones del tratamiento C permanecieron envasados individualmente en bolsas de plástico con una atmósfera de aire y los del tratamiento 1 en bolsas con una atmósfera de Nitrógeno.
- d) Tras el lavado, los jamones del tratamiento C fueron colgados en el secadero A (con aire) y los del tratamiento 1 en el secadero AM (con atmósfera modificada).

Tabla 3.1.4. Diseño experimental para la prueba 3.1.2a

Tratamiento	JAMONES ^{1,2}	
C	1i 2d 3i	4d 5i 6d
1	1d 2i 3d	4i 5d 6i

¹Jamones con un mismo número provienen de la misma canal. ²i: pata izquierda; d: pata derecha

La tabla 3.1.5 recoge las condiciones de temperatura y humedad relativa en las que permanecieron los jamones en las diferentes etapas.

Tabla 3.1.5. condiciones de procesado de los jamones de la prueba 3.1.2a.

Etapa	Periodo	Temp. (°C)	HUMEDAD	
			Secadero A	Secadero AM
Salado(SD) ¹	21	2-4	-	-
Reposo (R1)	20	2-4	70-80	75-85
Reposo (R2)	7	6-8	70-80	75-85
Secado 1 (S1)	36	12-14	70-80	75-85
Secado 2 (S2)	66	12-14	70-75	75-80
Secado 3 (S3)	60	19-21	65-75	70-80
Secado 4 (S4)	56	23-25	50-60	50-60
Secado 5 (S5)	9	25-27	50-60	50-60

¹Todos los jamones permanecieron en bolsas selladas con la atmósfera gaseosa correspondiente.

Material y métodos

Como se puede observar, la humedad correspondiente al tratamiento 1 se mantuvo por encima de la del tratamiento C durante los dos primeros tercios del secado.

El gráfico 3.1.1. muestra la evolución de la concentración de oxígeno en el secadero con atmósfera modificada, recogiendo para cada día, los valores máximo (antes de introducir N_2 en el secadero), mínimo (después de introducir N_2) y medio (media aritmética de los 2 anteriores) de la concentración de O_2 en el interior del secadero.

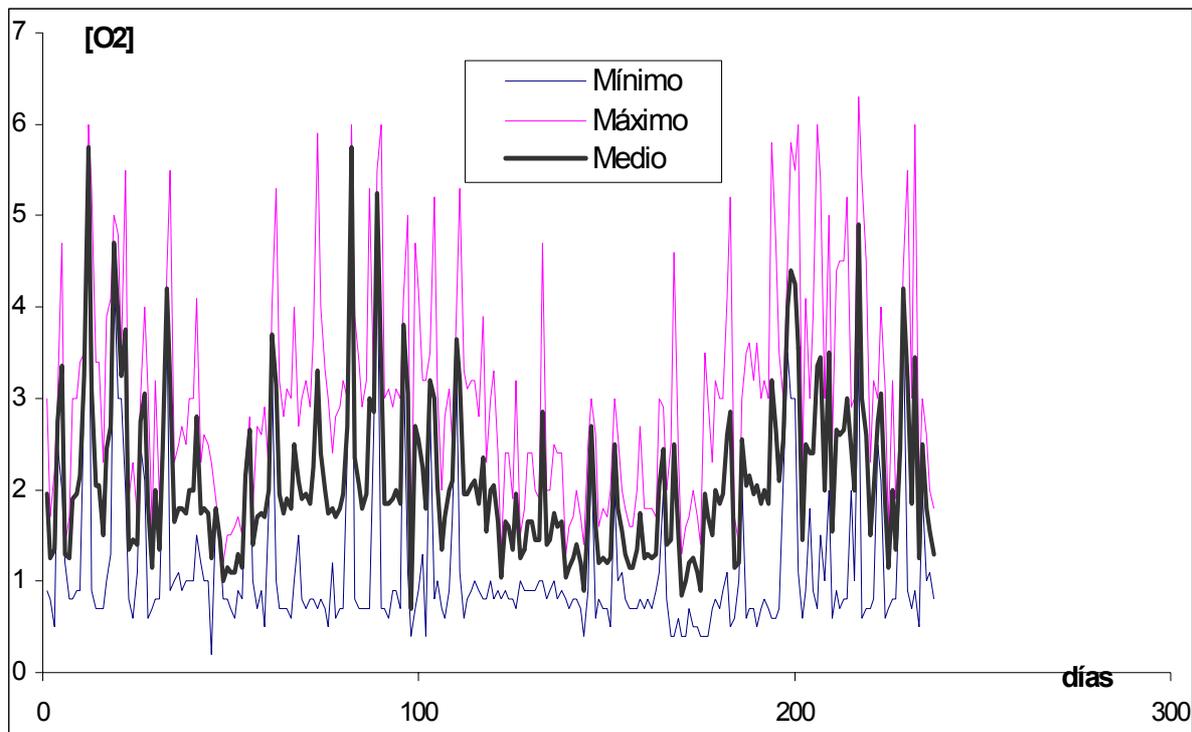


Gráfico 3.1.1: Evolución de las concentraciones máximas, mínimas y media de oxígeno diarias en el secadero con atmósfera modificada (prueba 3.1.2a.).

Los análisis efectuados a lo largo del proceso se muestran en la tabla 3.1.6.

Tabla 3.1.6. Análisis realizados a los jamones a lo largo de todo el proceso y en el producto final (prueba 3.1.2a).¹

Días de proceso	Etapa	Análisis Físico-Químicos	Análisis Microbiológico	Análisis sensorial
21	SD Fin)	-	Superficie (escobillón)	-
80	S1	-	Superficie (disección)	-
200	S3	-	Superficie (disección)	-
275	Producto final	pH, NNP, NT, a _w , NaCl, H ₂ O y estabilidad del color (músculos SM, BF). Color de la grasa	En profundidad (músculos RF, ST, AD)	Aspecto al corte. Flavor y textura (SM, BF)

¹ Los análisis se realizaron sobre todos los jamones, excepto en el caso de los análisis microbiológicos, los cuales sólo se realizaron en 4 jamones de cada tratamiento.

3.1.2b. Procesado en atmosfera modificada. 2ª prueba

Se siguió un procedimiento similar al anterior (3.1.2a), con las diferencias siguientes:

- El espesor de grasa subcutánea medio de los jamones fue de 1,5 cm.
- Se incluyó otro tratamiento: el tratamiento 2 (ver figura 3.1.1.), siguiendo el diseño experimental expuesto en la tabla 3.1.7. Los jamones del tratamiento 2 siguieron un procedimiento similar al del tratamiento C durante los primeros 214 días del proceso, momento en el cual se cambiaron del secadero con aire al de atmósfera modificada.
- Las humedades relativas aplicadas en los 3 tratamientos fueron similares en todo momento.
- Para asegurar la presencia de ácaros, todos los jamones fueron contaminados a los 214 días.

Tabla 3.1.7. Diseño experimental para la prueba 3.1.2b.

Tratamiento	JAMONES ^{1,2}		
C	1i 2d 3i	4d 5i 6d	
1	1d 2i 3d		7i 8d 9i
2		4i 5d 6i	7d 8i 9d

¹Jamones con un mismo número provienen de la misma canal. ²i: pata izquierda; d: pata derecha

En la tabla 3.1.8 se recogen las condiciones de temperatura y humedad relativa en las que permanecieron los jamones en las diferentes etapas. La tabla 3.1.9 muestra los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales efectuados a lo largo del proceso.

Material y métodos

Tabla 3.1.8. Condiciones de procesado de los jamones de la prueba 3.1.2b.

Etapa	Duración (Días)	Temp. (°C)	Humedad Relativa (%)
Salado(SD) ¹	21	2-4	-
Reposo (R1)	35	3-5	70-80
Reposo (R2)	8	6-8	70-80
Secado 1 (S1)	57	12-15	60-75
Secado 2 (S2)	50	15-17	60-75
Secado 3 (S3)	43	19-20	60-75
Secado 4 (S4)	50	22-24	50-60
Secado 5 (S5)	25	24-26	50-60

¹Todos los jamones permanecieron en bolsas selladas con la atmósfera gaseosa correspondiente.

El gráfico 3.1.2. muestra la evolución de la concentración de oxígeno en el secadero con atmósfera modificada, recogiendo para cada día, los valores máximos mínimos y medio.

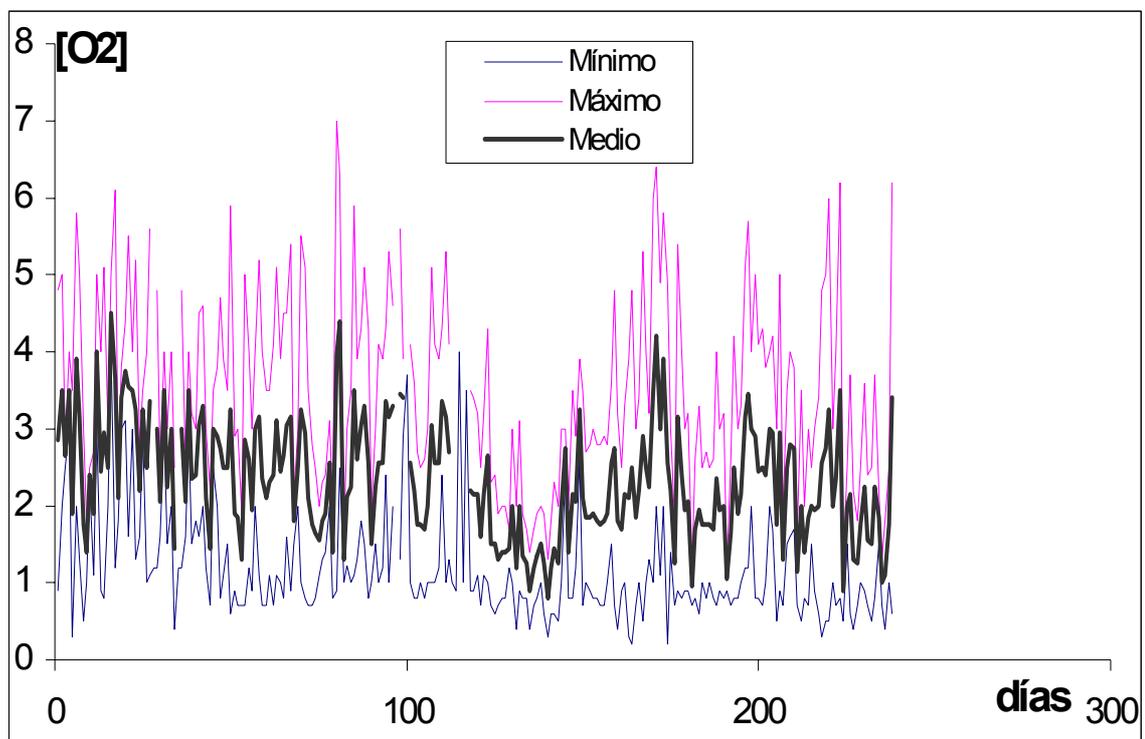


Gráfico 3.1.2: Evolución de las concentraciones máximas y mínimas de oxígeno diarias en el secadero con atmósfera modificada (prueba 3.1.2b.).

Tabla 3.1.9. Análisis realizados a los jamones a lo largo de todo el proceso y en el producto final (prueba 3.1.2b).¹

Días	Etapa	Análisis Físico-Químico	Análisis Microbiológico	Análisis sensorial
21	SD	Color grasa	Superficie (disección)	-
90	S1	-	Superficie (disección)	-
160	S3	Color grasa	Superficie (disección)	-
275	Producto final	NNP, NT, NaCl, H ₂ O, a _w color (estabilidad al corte y velo blanco) en SM y BF. Color de la grasa. Óxidos de colesterol (<i>Gluteus medius</i>). a _w (SM, <i>Gracilis</i>)	En profundidad (músculo <i>Adductor</i>)	Aspecto y olor externo. Aspecto al corte. Flavor y textura (SM, BF)

¹ Los análisis se realizaron sobre todos los jamones, excepto en el caso de los análisis microbiológicos y los óxidos de colesterol, los cuales sólo se realizaron, respectivamente, en 4 y 3 jamones de cada tratamiento.

3.1.3. PRUEBA CON ESTUFAJE CORTO Y APLICACIÓN DE GRASA

18 parejas de jamones siguieron el proceso general, con las particularidades siguientes:

- a) Los jamones seleccionados tenían un espesor de grasa subcutánea medio de 1,3 cm.
- b) Durante la etapa de salado, los jamones permanecieron en bandejas.
- c) A los 168, 192 y 296 días de proceso, se realizó, a los jamones que correspondía según el diseño experimental (tabla 3.1.10), una aplicación de 6 gramos de grasa líquida en la zona del magro que no estaba cubierta por la grasa de fusión propia del jamón. Los jamones a los cuales se aplicaba la grasa, permanecieron un día en posición horizontal para conseguir la absorción de la grasa en la superficie.

La grasa utilizada en cada embadurnamiento se obtuvo a partir de una pieza distinta de grasa dorsal de cerdo ibérico congelada a - 20°C. La pieza de grasa se descongeló y saló mediante frotado y posterior recubrimiento en sal durante 7 días. Después de lavarla, se colgó en el mismo secadero donde permanecieron los jamones. Al cabo de unos 15 días, la grasa se picó y filtró y se volvió a dejar en el secadero durante un mes antes de su uso. Este procedimiento se repitió para cada aplicación.

- d) A los 234 días de secado, los jamones correspondientes (ver diseño en tabla 3.1.10) fueron sometidos a un proceso de estufaje de 4 días de duración a 35-37°C y 40-50 % de humedad relativa.

Material y métodos

Tabla 3.1.10. Diseño experimental de la prueba con estufaje corto y aplicación de grasa.

Proceso	Untado	Estufaje	JAMONES ASIGNADOS A CADA PROCESO ^{1, 2, 3}					
UE	SI	SI	1i 2d	<u>3i</u> 4d 5i	<u>6d</u> 7i	<u>8d</u> <u>9i</u>		
U	SI	NO	1d 2i	<u>3d</u>			10i <u>11d</u> <u>12i</u>	13d 14i <u>15d</u>
E	NO	SI		4i 5d	<u>6i</u>		10d <u>11i</u> <u>12d</u>	<u>16i</u> 17d <u>18i</u>
C	NO	NO				7d <u>8i</u> <u>9d</u>	13i 14d <u>15i</u>	<u>16d</u> 17i <u>18d</u>

¹Jamones con un mismo número provienen de la misma canal. ²i: pata izquierda; d: pata derecha. ³ Los jamones subrayados se utilizaron para los análisis microbiológicos y el resto para los análisis físico-químicos.

La tabla 3.1.11 recoge las condiciones de temperatura y humedad relativa en las que permanecieron los jamones en las diferentes etapas. Los análisis efectuados a lo largo del proceso se muestran en la tabla 3.1.12.

Tabla 3.1.11. Condiciones de procesado de los jamones correspondientes a la prueba con estufaje corto y aplicación de grasa

Etapa	Duración (días)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
Salado(SD)	21	2-4	75-85
Reposo (R)	41	2-4	70-80
Secado 1 (S1)	75	12-17	60-70
Secado 2 (S2)	35	18-22	50-60
Secado 3 (S3)	59	23-25	50-60
Secado 4 (S4)	115	26-27	50-60

Tabla 3.1.12: Análisis realizados a los jamones a lo largo de todo el proceso y en el producto final (prueba 3.1.3)¹

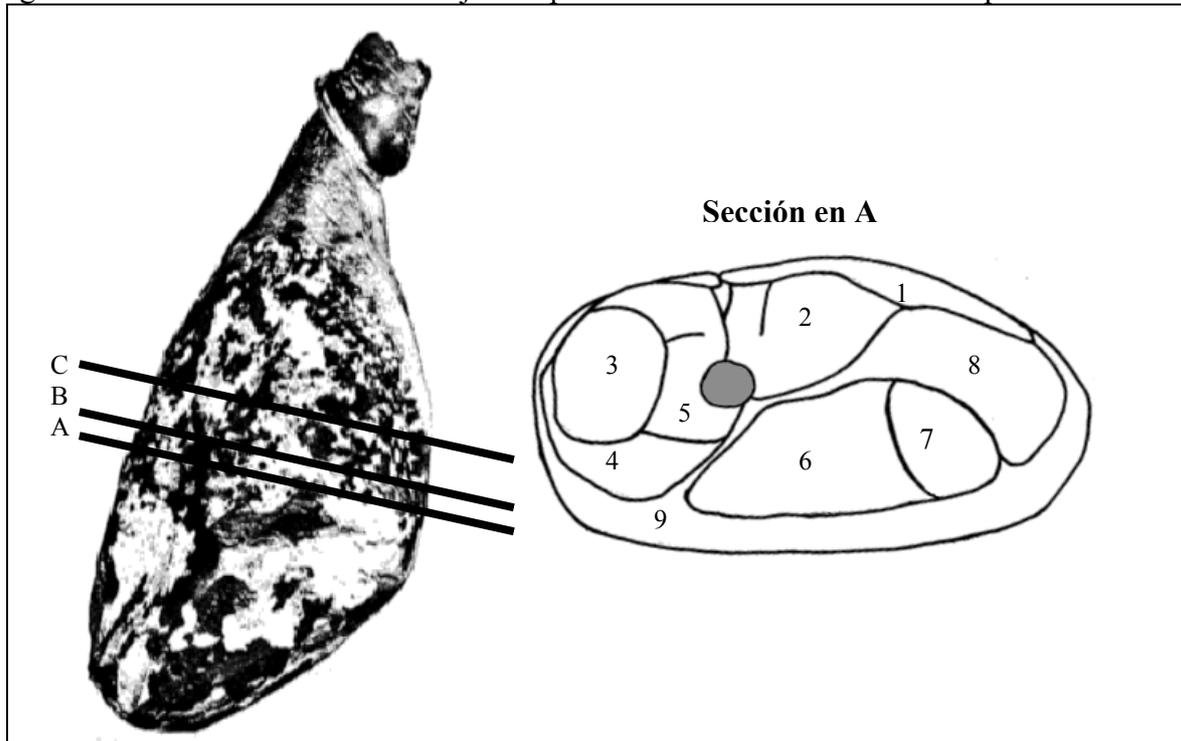
Días de proceso	Etapa	Análisis Físico-Químicos	Análisis Microbiológicos	Análisis sensorial
0	Presalado	Color de la grasa		
169	S2	Color de la grasa		
200	S3	-	-	Visual (hongos)
346	Producto final	perfil pH (Músculo RF), NNP, NT, NaCl, humedad, estabilidad del color al corte (SM, BF.). Color de la grasa	En profundidad (Músculo <i>Adductor</i>)	Aspecto al corte. Flavor y textura (SM, BF)

¹Los jamones elegidos para los análisis físico-químicos y microbiológicos se indican en la tabla 3.1.10. Los análisis de color y sensoriales se realizaron sobre todos los jamones.

3.2. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

3.2.1. TOMA DE MUESTRAS PARA LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

Fig. 3.2.1 Dissección anatómica del jamón para la obtención de las muestras para los análisis.



Zonas: 1: *Gracilis*; 2: *Adductor*; 3: *Rectus femoris*; 4: *Vastus lateralis* 5: *Vastus medialis* y *Vastus intermedius*; 6: *Biceps femoris*; 7: *Semitendinosus*; 8: *Semimembranosus*. 9: Grasa subcutánea

Tras extraer el hueso coxal, el fémur, la tibia y el peroné, se realizó un corte transversal en A (ver figura 3.2.1), otro en B y otro en C. De este modo se obtuvieron dos lonchas: una loncha de 2,5 cm. (AB), que se utilizó para la realización del perfil de pH, y una segunda de 1,5 centímetros (BC) para el análisis de la estabilidad del color. Una vez realizados estos análisis, se extrajeron los músculos *Semimembranosus* y *Biceps femoris* de ambos cortes y se guardaron envasados al vacío en refrigeración hasta la realización de los análisis físico-químicos correspondientes, con la excepción de que los envases que los contenían se abrieron una vez para llevar a cabo la evaluación visual del velo blanco formado en estos músculos, volviéndose a envasar inmediatamente tras dichos análisis visuales.

Para los análisis físico-químicos superficiales (a_w superficial, óxidos de colesterol) se extrajo una muestra de la zona correspondiente hasta 3 mm de profundidad.

3.2.2. METODOLOGÍA UTILIZADA EN LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

3.2.2.1. Estudio de las pérdidas de peso (mermas) durante el proceso

Las pérdidas de peso se establecieron por diferencia entre el peso inicial y el peso correspondientes al momento en el que se realizó la pesada. El cálculo de la merma acumulada en un punto del proceso se realizó según la fórmula siguiente: Merma acumulada (%) = $(P_i - P_x) * 100 / P_i$ donde P_i es el peso inicial y P_x el peso en ese punto del proceso.

3.2.2.2 Medidas dimensionales

Se colocaron los jamones horizontalmente sobre una superficie lisa con la parte del magro hacia arriba y se realizaron con un pie de rey apropiado las siguientes medidas:

- espesor: en la parte más gruesa del jamón
- longitud: distancia entre la articulación de la rodilla y la parte más lejana del magro
- anchura: distancia mayor en una recta que corte transversalmente el eje longitudinal del jamón .

3.2.2.3. pH

El valor del pH se midió utilizando un pH-metro (Sharlau Science modelo 8424) con una sonda de penetración (Crison Ingold LoT406-M3-S7/25). Durante el proceso las mediciones se realizaron introduciendo la sonda 2-3 cm en el exterior del músculo correspondiente. Para el perfil de pH en el producto final, se utilizó la loncha AB (ver figura 3.2.1.), midiéndose el pH en los puntos exterior (a 2-3 mm de la superficie), medio e interno (a 3-4 mm del músculo adyacente más interno) del músculo correspondiente. Para medir el pH global del músculo (únicamente en prueba 3.1.2b) se homogenizaron 10 g de muestra picada en 90 de agua destilada.

3.2.2.4. Actividad de Agua (a_w)

Se determinó en muestras de aproximadamente 200 gramos de carne picada y utilizando un A_w -Kryometer AWK-10 siguiendo el método de Rödel y col. (1990). En la prueba 3.1.2b además se midió la actividad de agua de muestras superficiales del músculo *Gracilis* tomadas hasta una profundidad de 3 mm con el aparato Novasina® a_w Sprinter (Novasina, Suiza) que mide la humedad relativa del ambiente en equilibrio con el alimento.

3.2.2.5. Humedad

Se determinó el porcentaje de peso perdido por desecación de 10-15 g de muestra picada en una estufa a 103 ± 2 °C hasta que el peso se mantuvo constante (Presidencia del Gobierno, 1979).

Se utilizó una estufa de desecación por convección natural (Selecta) y una balanza analítica de 0,01 mg de precisión (Mettler PE 300).

3.2.2.6. NaCl

El cálculo de concentración de NaCl se realizó mediante el método colorimétrico de Zall y col., (1956) adaptado al autoanalizador de flujo continuo segmentado Technicon™ AA-II bicanal para análisis de carnes y productos cárnicos (Bergman, 1977). Para ello, previamente se pesaron aproximadamente 15 gramos de muestra y se introdujeron dentro de un Erlenmeyer con 150 ml de agua desionizada, la muestra se homogeneizó con un Ultra-Turrax (Thyristor Regler TR 50) a 13.500 r.p.m. durante 30 segundos. A continuación la mezcla se introdujo en un baño a 80-100 °C durante una hora. Después de atemperar se añadieron 5 ml de solución de Carrez I y 5 ml de Carrez II dejando la muestra en reposo durante 10 minutos y se filtró sobre papel Whatmann No. 52.

3.2.2.7. Nitrogeno total/Proteína

Se determinó el contenido en nitrógeno utilizando el método Kjeldahl (Presidencia del Gobierno, 1979).

Material y métodos

Se pesaron aproximadamente 2,0 gramos de muestra picada y se introdujeron en un tubo Büchi con ácido sulfúrico concentrado (20 ml) y un catalizador de sulfato potásico, sulfato de cobre y selenio. Las muestras fueron digeridas mediante calor durante un tiempo aproximado de 3 horas en un digestor (Digestor Büchi 425). El extracto obtenido se destiló (Destillation unit Büchi 315) tras la adición de NaOH 30 % en un destilador, el destilado se recogió en un Erlenmeyer donde previamente se había añadido 100 ml de ácido bórico al 4 % y un indicador de color (0,2 ml de Rojo de Metilo, 0,1 ml de Azul de Metileno diluido en 100 cc en Alcohol Etilico). La cantidad de amoníaco formado se valoró con HCl 0,25 N y la cantidad de proteína se obtuvo multiplicando el valor del nitrógeno total por 6,25.

3.2.2.8. Nitrógeno no proteico

Se determinó el contenido en nitrógeno no proteico utilizando el método de Keresse (1984): Se pesaron aproximadamente 10,0 gramos de muestra y se introdujeron en un Erlenmeyer con agua desionizada (100 ml) y ácido tricloracético al 10 % (100 ml). Se taparon los Erlenmeyers (papel parafilm) y se dejaron 24 horas entre 2 y 4 °C. Pasadas las 24 horas se filtró la muestra y se introdujeron 50 ml en un tubo Büchi con ácido sulfúrico concentrado (20 ml) y un catalizador de sulfato potásico, sulfato de cobre y selenio. Las muestras fueron digeridas mediante calor durante un tiempo aproximado de 1,5 horas en un digestor (Digestor Büchi 425). El extracto obtenido se destiló (Destillation unit Büchi 315) tras la adición de NaOH 30 %, el destilado se recogió en un Erlenmeyer donde previamente se había añadido 100 ml de ácido bórico al 4 % y un indicador de color (Presidencia del Gobierno, 1979).

3.2.2.9. Análisis del color

Las medidas de color se realizaron bajo la iluminación de 8 fluorescentes de luz blanca fría, situados a 2 metros de altura, colocados dos a dos y provocando una intensidad luminosa en el centro de la mesa de muestreo de 460 lux. La temperatura de la sala era de 20°C. Se utilizó un colorímetro Minolta CR 200 con un área de medida de 8 mm, iluminación difusa y un ángulo de visión de 0° (componente especular incluido). La fuente de luz utilizada fue la C, y el sistema, el CIEL*a*b*.

a) Análisis del color de la grasa

Se midió el color en tres puntos de la grasa subcutánea a lo largo del proceso y en el producto final.

b) Evaluación de la estabilidad de color

Para el estudio de la estabilidad de color del jamón, se realizaron medidas colorimétricas en un mismo punto del SM y otro del BF de las loncha BC (ver figura 3.2.1.) tras ser cortadas y después de 10, 20, 30, 60 y 120 minutos de exposición a la luz. Durante el tiempo de exposición, las muestras se mantuvieron en la misma sala donde se realizaron las medidas y en las mismas condiciones de temperatura e intensidad luminosa descritas anteriormente.

c) Evaluación instrumental del velo blanco

En la prueba 3.1.2b se realizó una única medida del color de las muestras de los músculos SM y BF (ver 3.2.1) que habían permanecido envasadas al vacío durante 15 días a 2-5°C.

3.2.2.10. Análisis de los óxidos de colesterol

Se tomaron 20 g de la parte superficial del músculo *Gluteus medius* y se siguió el método descrito por García-Regueiro y Maraschiello (1997) substituyendo la purificación por cromatografía en capa fina por una extracción en fase sólida (SPE) con columna aminopropílica.

3.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

3.3.1. TOMA DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

3.3.1.1. Muestras superficiales

a) Método del escobillón

Con un escobillón embebido en 2 ml. de medio de dilución estéril (constituido por una dilución de Bactopeptona (Difco) y sal al 0,1 y 4 % respectivamente a pH 7,0), se frotó, en condiciones asépticas y durante un minuto, el área exterior de músculo *Adductor* que quedaba

Material y métodos

delimitada a través de un círculo de acero inoxidable estéril de 2,6 cm. de diámetro. Esta operación se repitió con otro escobillón y en el músculo *Gracilis*. Los dos escobillones se introdujeron en un tubo con 10 ml. de medio de cultivo estéril, el cual y se agitó durante un minuto con un agitador eléctrico de tubos para obtener la muestra madre

b) método de disección

Se seccionaron 10 g de carne a una profundidad máxima de 2 cm en condiciones asépticas, a partir de diferentes zonas del magro del jamón. La muestra era cortada en pedacitos con una tijera estéril y se homogenizó con un Stomacher Labblender en 90 ml. de medio de dilución para obtener la muestra madre.

3.3.1.2. Muestras internas

Se seccionaron, en condiciones asépticas, 10 g de carne del músculo correspondiente (BF, SM, RF, ST o zona del AD alrededor de la articulación coxofemoral). La muestra fue cortada en pedacitos con una tijera estéril y se homogenizó con un Stomacher Labblender en 90 ml. de medio de dilución para obtener la muestra madre.

3.3.2. METODOLOGÍA UTILIZADA EN LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

A partir de la muestras madre, se realizaron bancos de diluciones decimales y se realizó la siembra en los diferentes medios selectivos para el recuento de microorganismos. Los recuentos de los diversos grupos de microorganismos se realizaron de la siguiente forma:

Enterobacteriaceae

Se sembró 1 ml en profundidad y por la técnica de doble capa en agar Violeta cristal-rojo neutro-bilis glucosa (VRBD, Merck) incubándose a 30 °C durante 18-24 horas. Se consideraron positivas las colonias violetas rodeadas de un halo de precipitación.

Cocos Gram + Catalasa + (Cocos GC+)

Se sembró 0,1 ml en superficie con asa de Digrafsky en placas de agar con sal y manitol (MSA, Difco) previamente solidificado. La incubación se realizó a 30 °C durante 3 días. Se

consideraron positivas las colonias de color anaranjado y rodeadas del medio de cultivo del mismo color.

Bacterias ácido-lácticas

Se sembró 1 ml en profundidad y por la técnica de la técnica de la doble capa en agar MRS (Merck) incubándose a 30 °C durante 3 días. Se consideraron positivas todas las colonias que crecieron en el medio de cultivo.

Clostridios sulfito-reductores

Se sembraron con una pipeta estéril 1 ml de cada disolución en tubos conteniendo 15 ml. del medio de cultivo SPS (Merck). Una vez sembrados los tubos, se puso una capa de parafina estéril en la superficie. Se incubaron en una jarra de anaerobiosis a 37 °C durante 24 horas. Se consideraron positivas las colonias esféricas y de color negro.

Microorganismos halotolerantes aerobios

Se sembró 1 ml en profundidad en agar para recuento de gérmenes en alimentos (PCA) adicionado de un 4% de NaCl (Merck). Se incubaron a 30 °C durante 2-3 días. Se hizo un recuento de todos los microorganismos que crecieron.

Levaduras

Se sembró 1 ml en profundidad en agar Saboureaud (Merck) con suplemento de oxitetraciclina (Merck). Se incubaron a 22-25 °C durante 5 días, después de lo cual se hizo un recuento de todas las colonias características de levaduras (colonias regulares y cremosas).

Brochotrix thermosphacta

Se sembró 0,1 ml en superficie con asa de Digrafsky en agar STAA (Biocheck) adicionado de suplemento específico para este medio (Biocheck). La incubación se realizó a 22-25 °C durante 5 días. Se consideraron positivas todas las colonias que crecieron.

3.4 ANÁLISIS SENSORIALES

3.4.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA LOS ANÁLISIS SENSORIALES

La parte inferior del jamón (parte 1, ver figura 3.2.1) se utilizó para la evaluación visual de la coquera y loncha AB (ver figura 3.2.1) se utilizó para evaluar el resto de descriptores del análisis de aspecto al corte. Las muestras utilizadas en la puntuación del velo blanco fueron los músculos SM y BF extraídos de las lonchas AB, los cuales se almacenaron envasados al vacío durante 15 días a 3-5 °C (Arнау y col., 1994). Para el análisis sensorial de textura y flavor se utilizó el resto del jamón (parte 2, ver figura 3.2.1), al cual se le quitó la parte superficial (hasta unos 3 mm aproximadamente) con un cuchillo y se mantuvieron envasados al vacío y en refrigeración hasta la realización de los análisis. En el momento de realizar las catas, se cortaron lonchas de 2 mm de espesor con una lonheadora eléctrica, y se presentaron a los catadores a temperatura ambiente y en bandejas individuales. Los catadores extrajeron con una tijera los músculos SM y BF eliminando la grasa subcutánea y los evaluaron por separado. Cada catador utilizó una loncha para los atributos de flavor y la otra, doblada en cuatro partes, para los atributos de textura.

En la prueba 3.1.1. se realizaron análisis de aspecto y olor externo de los jamones durante el procesado y en la prueba 3.1.2b, en el producto final. Para ello, los jamones se colocaron horizontalmente uno tras otro y los panelistas, uno a uno, procedieron a la evaluación sensorial.

3.4.2. METODOLOGÍA UTILIZADA EN LA REALIZACIÓN DE LOS ANÁLISIS SENSORIALES

Los análisis sensoriales tuvieron lugar en un local (sala de catas) que cumplía la norma UNE 87-004-79, donde la temperatura, la humedad y la iluminación estaban controladas y contaba con cabinas de degustación individuales.

En cada prueba, se efectuó un Análisis Cuantitativo Descriptivo (Stone y col., 1974) para el aspecto al corte, y otro para el flavor y textura de las muestras del producto terminado. Ambos Análisis Cuantitativos Descriptivos se llevaron a cabo mediante un panel formado por 8

panelistas entrenados en la evaluación del jamón curado. Los descriptores de aspecto y flavor, fueron seleccionados de un perfil descriptivo generado por discusiones abiertas entre los miembros del panel y técnicos de industrias productoras de jamón curado. La valoración de los descriptores de todos los análisis se efectuó sobre una escala no estructurada de 0 a 10 (Amerine *et al.*, 1965) donde el 0 representa la ausencia del descriptor y el 10 la máxima manifestación del mismo. Todas las muestras se presentaron codificadas con números aleatorios de tres cifras.

En la figura 3.4.1 se muestran la distribución de los jamones en las sesiones de catas y evaluaciones de aspecto para las pruebas 3.1.1 y 3.1.3. Las figuras 3.4.2 y 3.4.3 corresponden a las pruebas 3.1.2b y 3.1.2a respectivamente.

Los análisis de aspecto al corte se llevaban a cabo en dos sesiones, excepto en la prueba 3.1.2a, en la que se efectuaron en una única sesión. Asimismo, en cada prueba, se realizó una sesión extra para evaluar el velo blanco.

Figura 3.4.1. Distribución de las muestras de jamones en las sesiones de catas y evaluaciones de aspecto correspondientes a las pruebas 3.1.1 y 3.1.3^{1,2}

Ses.1	Ses. 2	Ses. 3	Ses. 4	Ses. 5	Ses. 6	Ses. 7	Ses. 8	Ses. 9
<i>A-D</i>	<i>A-B</i>	<i>A-C</i>	<i>A-D</i>	<i>A-B</i>	A-C	A-D	A-B	A-C
<i>B-C</i>	<i>C-D</i>	<i>B-D</i>	<i>B-C</i>	C-D	B-D	B-C	C-D	B-D

¹ Las letras indican procesos diferentes y cada pareja de letras separada por un guión indican una pareja de muestras de jamones proveniente del mismo cerdo ²Las letras en cursiva indican las muestras de jamones utilizados en la 1ª sesión de análisis visual. El resto de muestras se evaluaron en la 2ª sesión.

Figura 3.4.2. Distribución de las parejas de muestras de jamones en las sesiones de catas y evaluaciones de aspecto para la prueba 3.1.2b^{1,2}

Ses.1	Ses. 2	Ses. 3	Ses. 4	Ses. 5
<i>C-1</i>	<i>C-2</i>	<i>C-1</i>	C-1	1-2
<i>C-2</i>	<i>1-2</i>	1-2	C-2	

¹ Los números y letras indican los tratamientos (C, 1 y 2). Las parejas de jamones representados con letras y/o números separados por guiones provienen del mismo cerdo ²Las letras en cursiva indican las muestras de jamones utilizados en la 1ª sesión de análisis visual. El resto de muestras se evaluaron en la 2ª.

Material y métodos

Figura 3.4.3. Distribución de las muestras de jamones en las sesiones de catas correspondiente a la prueba 3.1.2a¹

Ses.1	Ses. 2	Ses. 3
C-1	C-1	C-1
C-1	C-1	C-1

¹ Los números y letras indican los tratamientos C y 1. Las parejas de jamones representados con letras y/o números separados por guiones provienen del mismo cerdo

En las sesiones de catas en las que se evaluaban muestras de 2 parejas de jamones se seguía el orden de evaluación expuesto en la figura 3.4.4. En las sesiones en las que sólo se evaluaba muestras de una pareja de jamones, la mitad de panelistas analizaban en primer lugar la muestra de un jamón y la otra mitad de catadores evaluaban la muestra del mismo jamón en segundo lugar.

Figura 3.4.4: Orden de evaluación de las 4 muestras (1, 1', 2, 2') en cada sesión para los 8 catadores¹:

Orden	Catador 1	Catador 2	Catador 3	Catador 4	Catador 5	Catador 6	Catador 7	Catador 8
1°	1	1	1'	1'	2	2'	2	2'
2°	1'	1'	1	1	2'	2	2'	2
3°	2	2'	2	2'	1	1	1'	1'
4°	2'	2	2'	2	1'	1'	1	1

¹ Números iguales indican muestras de jamones de un mismo cerdo

La figura 3.4.5 muestra la hoja utilizada en la evaluación del aspecto y olor externo a lo largo del proceso realizado en la prueba 3.1.1 y la figura 3.4.6. la utilizada para el aspecto y olor externo del producto final realizado en la prueba 3.1.2b. Las hojas utilizadas para el análisis sensorial del aspecto al corte y para las catas se muestran en las figuras 3.4.7 y 3.4.8 respectivamente.

Figura 3.4.5: Hoja utilizada en la evaluación del aspecto y olor externos a lo largo del procesado de jamones curados (prueba 3.1.1)

EVALUACIÓN EXTERNA DURANTE EL PROCESADO DE JAMONES CURADOS														
Nombre:														
Fecha:														
DESCRIPTOR	CÓDIGO DE MUESTRA													
Brillo de la grasa														
Fusión de grasa														
Aspecto a levadura														
Hongos de cobertura														
Olor añejo														
Olor curado														
Olor levadura														
Olor Afrutado														

Figura 3.4.6: Hoja utilizada en la evaluación del aspecto y olor externos del producto final (prueba 3.1.2b)

EVALUACIÓN EXTERNA DE JAMONES CURADOS														
Nombre:														
Fecha:														
DESCRIPTOR	CÓDIGO DE MUESTRA													
Intensidad aroma														
Intensidad de color rojo del magro														

Material y métodos

Figura 3.4.7: Hoja utilizada en la evaluación del aspecto al corte

EVALUACIÓN DE ASPECTO AL CORTE DE MUESTRAS DE JAMÓN																
Nombre:																
Fecha:								Sesión:								
DESCRIPTOR	CÓDIGO DE MUESTRA															
Uniformidad del color																
Velo blanco SM																
Velo blanco BF																
Brillo del BF																
Presencia de halo de nitrificación																
Coquera																

Figura 3.4.8: Hoja utilizada para la puntuación de los descriptores en las catas

EVALUACIÓN SENSORIAL DE MUESTRAS DE JAMON CURADO					
Nombre:		Músculo:			
Fecha:		Sesión:			
ATRIBUTOS		CODIGO MUESTRA			
FLAVOR	Metálico				
	Carne cruda/vísceras				
	Animal/cuadra				
	Dulce				
	Salado				
	Picante				
	Amargo				
	Añejo				
	Curado				
	Floral				
	Pienso				
	Afrutado				
	Tostado				
	Umami				
	Otros:				
TEXTURA*					
	Adhesividad				
	Dureza				
	Desmenuzabilidad				
	Pastosidad				
	Fibrosidad				
GLOBAL	Aceptabilidad				

*Para la evaluación de los atributos de textura, dobla los músculos en 4 partes.

3.4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS ATRIBUTOS UTILIZADOS EN LOS ANÁLISIS SENSORIALES:

Para las referencias bibliográficas de las definiciones de descriptores y de las escalas de referencia expuestas a continuación, ver apartado 1.3.1.2

A) Aspecto externo

- Fusión de grasa: Extensión del área del magro recubierta por la grasa fundida del propio jamón, principalmente proveniente de la grasa dorsal.
- Hongos de cobertura: extensión del área del magro del jamón cubierta del característico micelio de los hongos.
- Aspecto de levadura: extensión del área cubierto por una rugosidad blancas debidas al crecimiento de levaduras.
- Brillo de la grasa: Reflexión de la luz que incide sobre la superficie de la grasa dorsal.

B) Aspecto al corte

- Velo blanco: Intensidad del color blanco de la patina superficial que aparece en la superficie de la loncha.
- Halos de nitrificación: Presencia o ausencia de halos de nitrificación o zonas con un color diferenciado debido a la insuficiente nitrificación.
- Brillo del BF: Reflexión de la luz sobre la superficie de la loncha. Se valoró en la zona del BF tras eliminar la grasa y raspar su superficie con una espátula. Este raspado se hacía en el sentido que daba lugar a un mayor brillo.
- Uniformidad del color: Variaciones de color en la superficie de la muestra.
- Coquera: Extensión del área afectada por este defecto alrededor de la articulación coxo-femoral.

C) Olor, gusto y flavor:

- Metálico: Sabor similar al de una solución de $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ (0,016 g/l).
- Salado: Sabor elemental correspondiente a una solución de NaCl. Como referencias para las puntuaciones 2, 5 y 8 (sobre 10) se tomaron respectivamente lomos curados con 2, 8 y 14 % de sal secados lentamente hasta una merma del 35 %
- Amargo: Sabor básico similar al producido por soluciones acuosas de L-triptófano. Como referencia se tomó que una solución del mismo al 0,1 % correspondía a una puntuación de 10.

- Dulce: Sabor básico similar al producido por soluciones acuosas de diversos azúcares.
- Umami: Sabor básico similar al de una solución de L-glutamato monosódico.
- Picante: Sensación picante que se produce en la boca y garganta
- Animal, cuadra: Flavor análogo al olor que presentan las cuerdas de cerdos. No se identifica ni como olor sexual ni como escatol.
- Carne cruda, vísceras: Flavor que presentan la carne cruda y algunas vísceras como el hígado
- Hongos: Olor que presentan algunos productos cárnicos en los que se ha producido un crecimiento de hongos en condiciones de humedad elevada.
- Añejo: Flavor y olor producidos por una rancidez incipiente que se asocia a productos de larga maduración y que se considera como deseable
- Coquera: Flavor desagradable a bodega húmeda.
- Levadura: Flavor y olor similar al de la levadura de pan.
- Floral: Flavor que recuerda al olor del jacinto.
- Pienso: Flavor similar al pienso.
- Afrutado: Olor similar al de ciertas frutas
- Tostado: Flavor similar al de carne tostada.
- Avinado: olor similar al del vino.
- Curado (flavor y olor): Conjunto de notas agradables que caracterizan a las salazones cárnicas y que no están descritas por el resto de descriptores

D) Textura:

- Dureza: Fuerza necesaria para realizar el primer mordisco con los molares
- Adhesividad: Medida de la adherencia al paladar de la superficie de la muestra sin masticar totalmente recubierta con saliva, después de presionarla con la lengua.
- Desmenuzabilidad: Medida de la facilidad con la que la muestra se separa en partículas más pequeñas
- Pastosidad: Sensación de pasta en la boca similar a la producida por mezclas de harina y agua.
- Fibrosidad: Medida de la cantidad de fibras detectadas durante la masticación.

E) Calificación global

- Aceptabilidad: Grado de aceptación del producto. En el presente trabajo de tesis doctoral, representó únicamente la opinión de los catadores, y no la de los consumidores.

3.5 ANALISIS ESTADÍSTICO

Con el fin de averiguar si los factores estudiados en cada prueba tuvieron efecto significativo sobre los parámetros físicoquímicos, microbiológicos y sensoriales analizados, en cada prueba se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) tomando como variables los resultados de los análisis de dichos parámetros. Los factores utilizados en el ANOVA en cada prueba se muestran en la figura 3.5.1.

Figura 3.5.1: Factores tomados para el ANOVA de cada prueba.

PRUEBA	FACTOR 1		FACTOR 2		FACTOR 3	
	Nombre	Niveles	Nombre	Niveles	Nombre	Niveles
3.1.1.	Canal	1, 2, 3...18	Cultivo iniciador	Presencia (SI) Ausencia (NO)	Vacío (en el reposo)	Presencia (SI) Ausencia (NO)
3.1.2a	Canal	1, 2, 3...9	Tratamiento	C, 1	-	-
3.1.2b	Canal	1, 2, 3...6	Tratamiento	C, 1, 2	-	-
3.1.3.	Canal	1, 2, 3...18	Untado (con grasa)	Presencia (SI) Ausencia (NO)	Estufaje	Presencia (SI) Ausencia (NO)

Los ANOVA se llevaron a cabo mediante el procedimiento *General Linear Model (GLM)* del paquete de aplicaciones estadísticas SAS (SAS, 1989). Para cada parámetro, se calcularon las medias ponderadas correspondientes a cada nivel de los diferentes factores mediante el procedimiento *Least Square Means (LSM)* del mismo software.

Para aquellos parámetros sobre los que hubo un efecto significativo de la interacción Cultivo * Vacío (prueba 3.1.1.) o Untado * Estufaje (prueba 3.1.3), así como para algunos parámetros en los que se quiso evaluar su evolución temporal, se estimó oportuno calcular la

media (aritmética o ponderada) de los jamones correspondientes a cada proceso (C, V, S y SV en la prueba 3.1.1 o C, U, E y EU en la prueba 3.1.3.).

En los análisis sensoriales, cuando hubo un descriptor que únicamente se detectó en una parte de los jamones, en lugar de un ANOVA se realizó un test χ^2 (Meilgard y col., 1990) para evaluar si hubo un efecto significativo de cada factor estudiado sobre la frecuencia de jamones en los cuáles se detectó dicho atributo.

4.1. PRUEBA CON CULTIVO INICIADOR Y DOS TIPOS DE REPOSO

(prueba 3.1.1.)

4.1.1. MERMAS

Los gráficos 4.1.1 y 4.1.2 muestran, respectivamente, la evolución del peso y de la merma acumulada en los dos grupos de jamones diferenciados según el tipo de reposo sufrido.

Las pérdidas de peso más importantes en los jamones con un reposo standard se dieron, por este orden, en el reposo, salado y primeros dos meses de secado. A partir de aquí las mermas fueron más regulares hasta el final del proceso. En los jamones V y SV sólo hubo dos etapas con una merma importante: salado y primeros dos meses de secado, ya que en el reposo no hubo prácticamente pérdida de agua, a excepción de la pequeña cantidad de líquido exudado que quedó en el interior del envase. En todas las etapas posteriores al salado, la merma acumulada de los jamones con un reposo en vacío siempre fue inferior a la del resto de jamones y, en cada periodo, su ritmo de pérdida de agua fue superior. Como esta diferencia en la velocidad de pérdida de agua se fue reduciendo con el tiempo, las diferencias de las mermas acumuladas entre ambos grupos de jamones se fue reduciendo a lo largo de todo el proceso. Primero lo hizo de manera más importante, pasando de una diferencia de 10 unidades porcentuales al inicio del periodo de secado (4% frente a 14%) a una diferencia de 4,5 %, 40 días después (16 frente a 20,5 %) y a 4,1 % 25 días más tarde. Después esta diferencia de merma se fue rebajando ligeramente, hasta llegar a una diferencia de 2,9 unidades porcentuales en el producto final (33,8 frente a 36,7 %). La velocidad de pérdida de peso de todos los jamones disminuyó durante el secado, excepto entre los días 210 y 280 en los cuales la merma fue superior al del periodo inmediatamente anterior.

Si se calculan los cambios en el peso que experimentaron los jamones con un reposo normal en los 250 días posteriores al salado (etapas R, S1, S2, S3 S4 y S5, ver figura 3.1.2 en el apartado 3.1.1) con los que tuvieron los jamones con reposo en vacío en los 250 días posteriores al reposo (etapas S1, S2, S3 S4 S5 y S6), se observa que la pérdida de peso media por mes fue de 349 g/mes en el caso de los primeros C y S y de 341 g/mes en los segundos.

Resultados

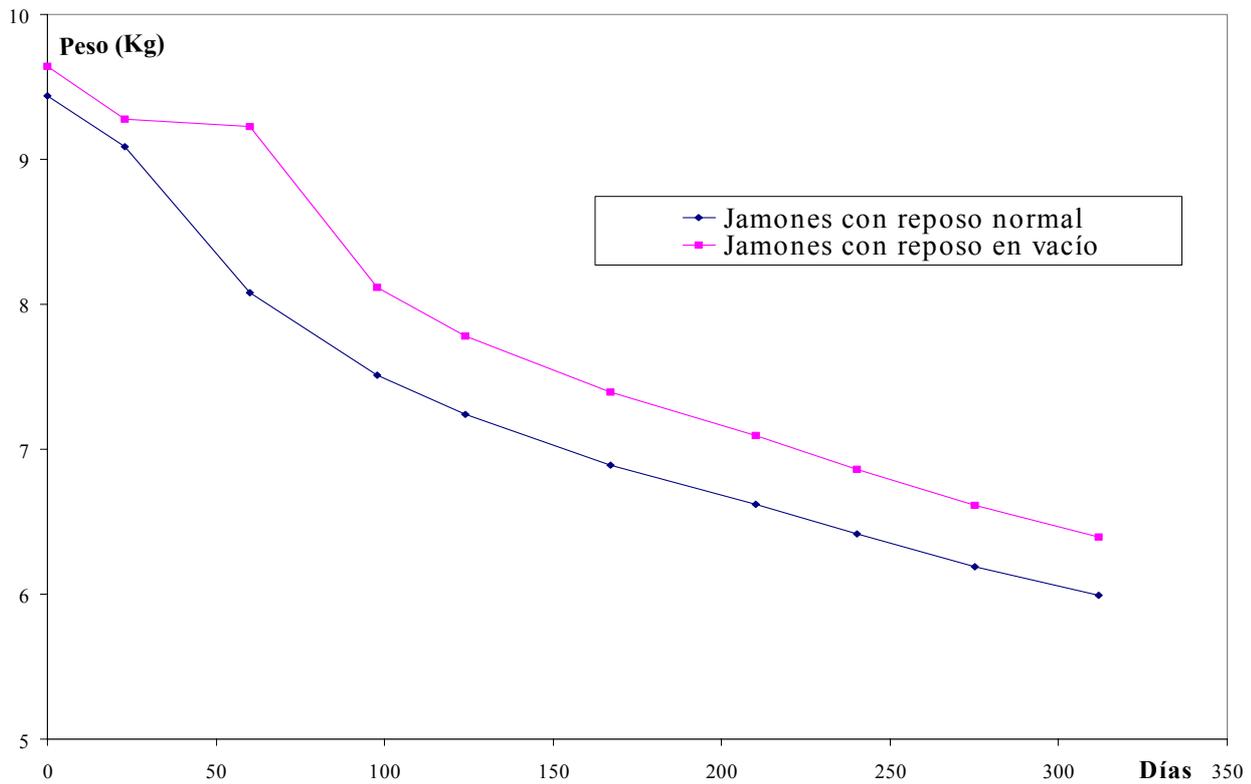


Gráfico 4.1.1: Evolución del peso de los jamones según el tipo de reposo (prueba 3.1.1).

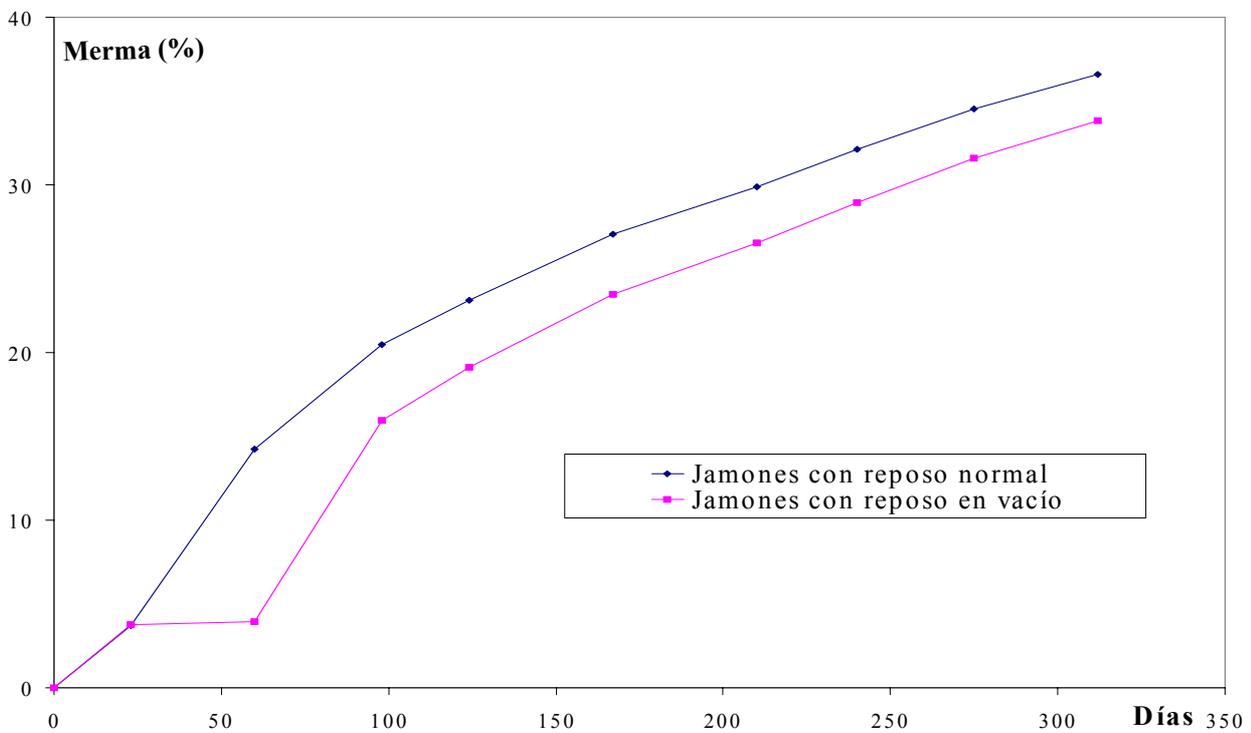
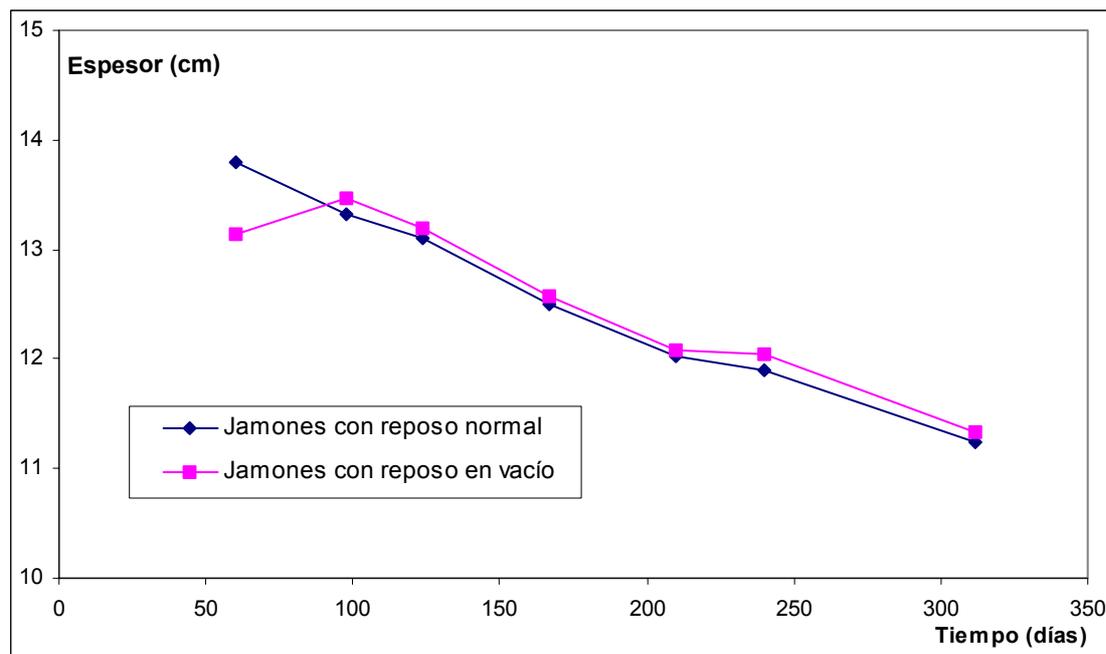


Gráfico 4.1.2: Evolución de la merma acumulada de los jamones según el tipo de reposo (prueba 3.1.1).

4.1.2 MEDIDAS DIMENSIONALES

Los gráficos 4.1.3, 4.1.4 y 4.1.5 representan, respectivamente, la evolución, desde el final de la etapa de reposo, del espesor, anchura y longitud de los dos grupos de jamones clasificados según el tipo de reposo.



Gráficos 4.1.3. Evolución del espesor de los jamones según el tipo de reposo (prueba 3.1.1).

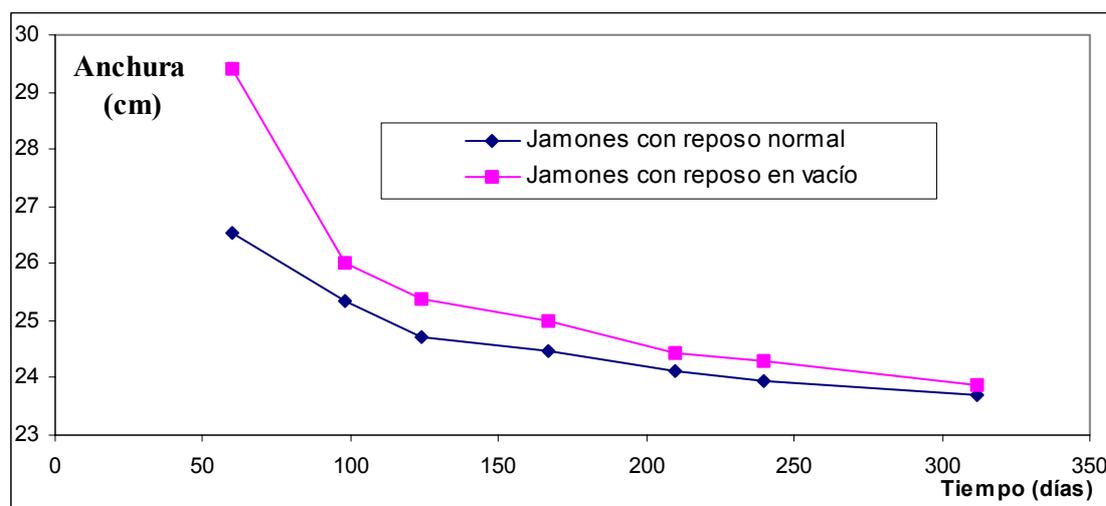


Gráfico 4.1.4. Evolución de la anchura de los jamones según el tipo de reposo (prueba 3.1.1).

Resultados

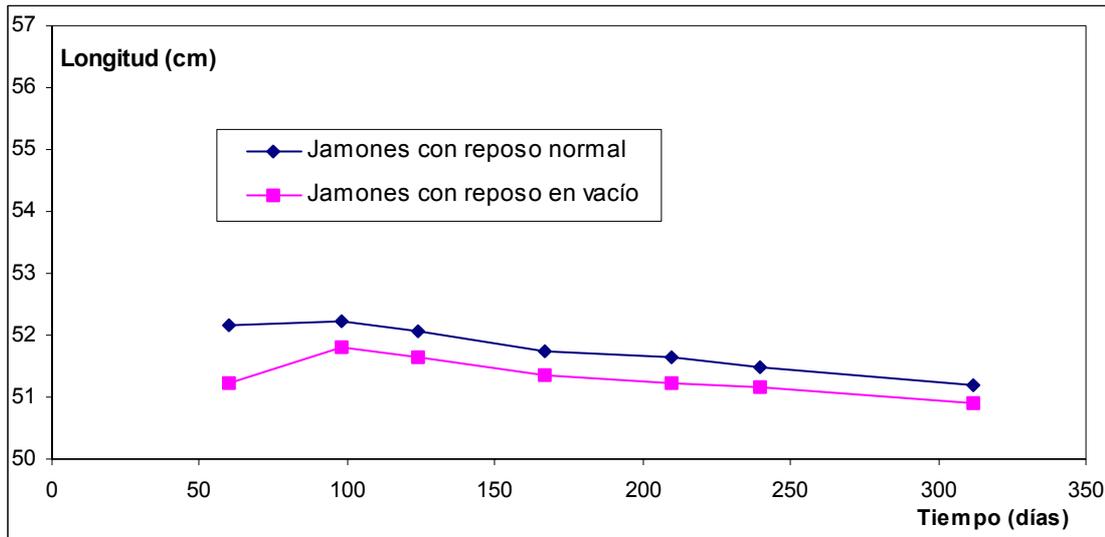


Gráfico 4.1.5. Evolución de la longitud de los jamones según el tipo de reposo (prueba 3.1.1).

Al final de la etapa de reposo, los jamones V y SV, a pesar de haber sufrido una menor merma, presentaron una menor longitud y espesor y una mayor anchura que el resto. Durante el primer mes de secado, los jamones de los tratamientos C y S experimentan una disminución en todas sus dimensiones, mientras que en los jamones V y SV, la anchura se redujo de manera muy importante, a la vez que la longitud y el espesor aumentaron, aunque únicamente éste llega a igualar al del resto de jamones. A partir de esta etapa, las dimensiones se redujeron paulatinamente en todos los jamones, siendo la longitud la que sufrió una menor variación. La anchura de los jamones V y SV tendió lentamente a igualar la del resto de jamones. Las diferencias en la longitud se mantuvieron hasta el final del proceso, aunque esta diferencia fue poco importante.

4.1.3. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Los resultados del ANOVA sobre los parámetros físico-químicos para el músculo SM y BF se muestran en las tablas 4.1.1 y 4.1.2, respectivamente. El factor canal afectó en mayor medida a los parámetros del BF que a los del SM. Así, tuvo un efecto significativo ($p < 0,05$ ó $p < 0,1$) en 9 parámetros del músculo BF, mientras que únicamente tuvo un efecto importante en el contenido de sal y la humedad del músculo SM. El tipo de reposo afectó de manera significativa a una buena parte de los parámetros en los dos músculos, de manera que la permanencia de los jamones en vacío durante esta etapa dio lugar a un aumento significativo ($p < 0,05$) de la humedad en 2,3 g/100g en el músculo BF y del índice de proteólisis ($p < 0,1$) (diferencia de 1,5

unidades en ambos músculos), una disminución significativa del contenido de sal en base seca (en 2,21 y 0,63 g/100g en el SM y BF respectivamente) y un aumento significativo de la a_w de los jamones (0,021 unidades en SM y 0,013 en BF). La inoculación del cultivo y la interacción cultivo * vacío no tuvieron ningún efecto significativo sobre ninguno de los parámetros mencionados.

En el músculo SM, la inoculación provocó una disminución de pH en el interior (de 0,10 unidades) y un aumento de pH en su parte más externa (0,13). El reposo en vacío también ocasionó un aumento significativo de 0,08 unidades en el pH de la zona media de ambos músculos.

Tabla 4.1.1. Resultados de los análisis físico-químicos correspondientes a los jamones pertenecientes a la prueba 3.1.1.: músculo SM.^{1, 2, 3}

Parámetro	Cultivo			Vacío			Canal	Cultivo * Vacío	e.s.r. ⁴
	SI	NO	Sig.	SI	NO	Sig.	Sig.	Sig.	
Humedad (%)	44,21	44,09	n.s.	44,58	43,72	n.s.	+	n.s.	1,67
NaCl (%)	6,03	6,09	n.s.	5,38	6,74	**	+	n.s.	0,59
NaCl (% b.s.)	10,68	10,77	n.s.	9,62	11,83	**	*	n.s.	1,07
NaCl/H ₂ O (%)	13,97	14,14	n.s.	12,35	15,76	**	n.s.	n.s.	1,51
Proteína (%)	42,04	42,53	n.s.	41,32	43,25	n.s.	n.s.	n.s.	2,83
Proteína (% b.s.)	74,73	75,54	n.s.	74,83	75,44	n.s.	n.s.	n.s.	2,55
IP(NNP*100/NT)	20,14	20,94	n.s.	21,29	19,79	+	n.s.	n.s.	1,61
pH:									
Interno	5,72	5,82	*	5,80	5,74	n.s.	n.s.	n.s.	0,15
Medio	5,79	5,83	n.s.	5,85	5,77	+	n.s.	n.s.	0,14
Externo	5,84	5,71	+	5,79	5,77	n.s.	n.s.	n.s.	0,16
Aw	0,853	0,855	n.s.	0,864	0,843	*	n.s.	n.s.	0,011

¹ Los valores en negrita indican que, para ese parámetro, la diferencia entre los dos niveles del factor fue significativa (con $p < 0,05$, excepto los valores en cursiva, en los que $p < 0,1$). $n=10$ para cada nivel del factor cultivo o reposo. ² Todos los parámetros están expresados en base húmeda, excepto los cocientes y los indicados con: b.s.: base seca. ³ Significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$. ⁴ error estándar residual.

Resultados

Tabla 4.1.2. Resultados de los análisis físico-químicos de los jamones pertenecientes a la prueba 3.1.1.: músculo BF.^{1,2}.

Parámetro	Cultivo			Vacío			Canal	Cultivo * Vacío	e.s.r. ³
	SI	NO	Sig.	SI	NO	Sig.	Sig.	Sig.	
Humedad (%)	59,08	59,25	n.s.	60,32	58,00	**	*	n.s.	0,87
NaCl (%)	7,49	7,07	n.s.	6,95	7,61	**	**	n.s.	0,18
NaCl (% b.s.)	18,16	17,35	n.s.	17,44	18,07	*	**	n.s.	0,27
NaCl/H ₂ O (%)	12,78	11,96	n.s.	11,58	13,17	**	*	n.s.	0,52
Proteína (%)	27,56	27,04	n.s.	26,61	28,00	**	**	n.s.	0,52
Proteína (b.s.)	67,36	66,36	n.s.	67,03	66,69	n.s.	n.s.	n.s.	1,76
pH (zona media)	5,91	5,95	n.s.	5,97	5,89	*	+	n.s.	0,08
IP(NNP*100/NT)	28,25	28,88	n.s.	29,31	27,81	*	+	n.s.	1,12
Aw	0,887	0,888	n.s.	0,894	0,881	**	*	n.s.	0,001

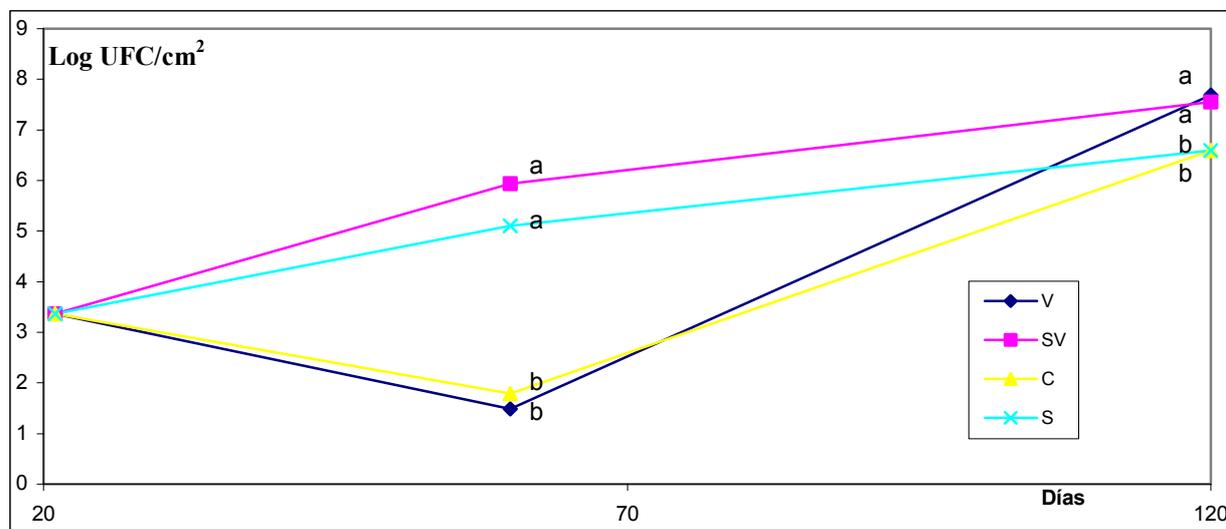
¹ Los valores en negrita indican que, para ese parámetro, la diferencia entre los dos niveles del factor fue significativa (con $p < 0,05$, excepto los valores en cursiva, en los que $p < 0,1$). $n=10$ para cada nivel del factor cultivo y vacío. ² Todos los parámetros están expresados en base húmeda, excepto los cocientes y los indicados con: b.s.: base seca. ³ Error estándar residual. ⁴ Significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$.

4.1.4. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

El cultivo iniciador consistía en una mezcla de cocos GC+ (*Staphylococcus carnosus* y *S. xylosus*), bacterias ácido-lácticas (*Lactobacillus sake* y *Pediococcus pentosaceus*) y levaduras (*Debaryomyces hansenii*). Los recuentos de este cultivo indicaron que constaba de $6 \cdot 10^{10}$ u.f.c./g de cocos GC+, $4 \cdot 10^{10}$ u.f.c./g de bacterias ácido-lácticas y $6 \cdot 10^9$ ufc/g de levaduras.

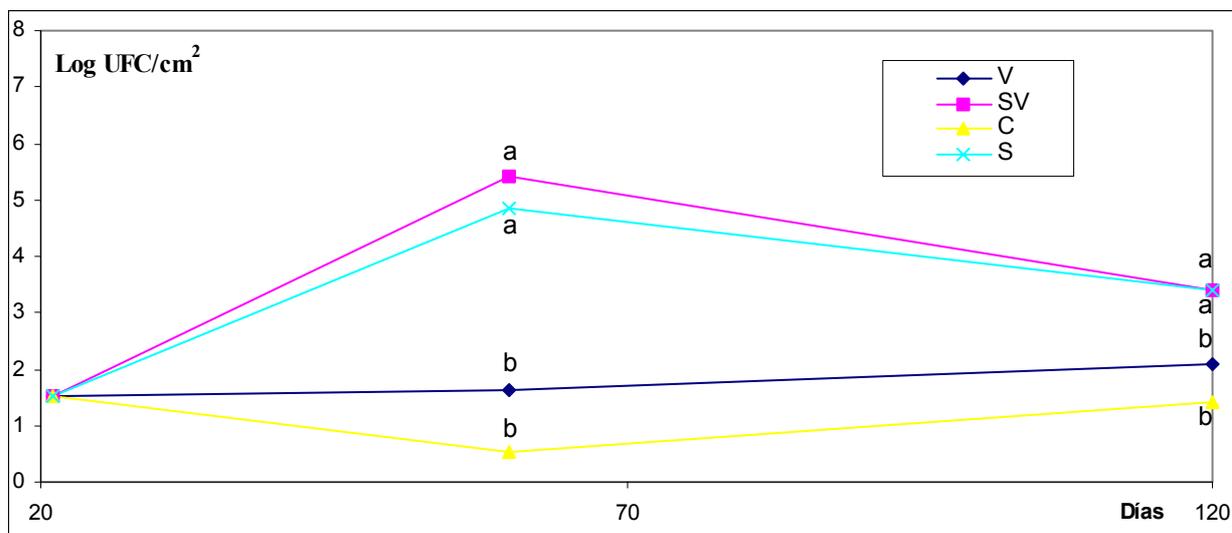
Como se verá más adelante, los recuentos superficiales de microorganismos halotolerantes coincidieron, en todas las fases del procesado estudiadas, con los de los cocos GC+, siendo éste el grupo mayoritario durante todo el procesado.

Los gráficos 4.1.6, 4.1.7 y 4.1.8 muestran, en cada proceso (C, V, SV y S), los recuentos superficiales de los cocos GC+, bacterias ácido-lácticas y levaduras tras el salado, tras el reposo y a los 120 días de proceso.



Gráfica 4.1.6. Evolución de los Cocos GC+ desde la etapa de salado (prueba 3.1.1)¹.

¹ Para un mismo periodo de tiempo, valores señalados con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)



Gráfica 4.1.7. Evolución de las bacterias ácido-lácticas desde la etapa de salado (prueba 3.1.1)¹.

¹ Para un mismo periodo de tiempo, valores señalados con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Resultados

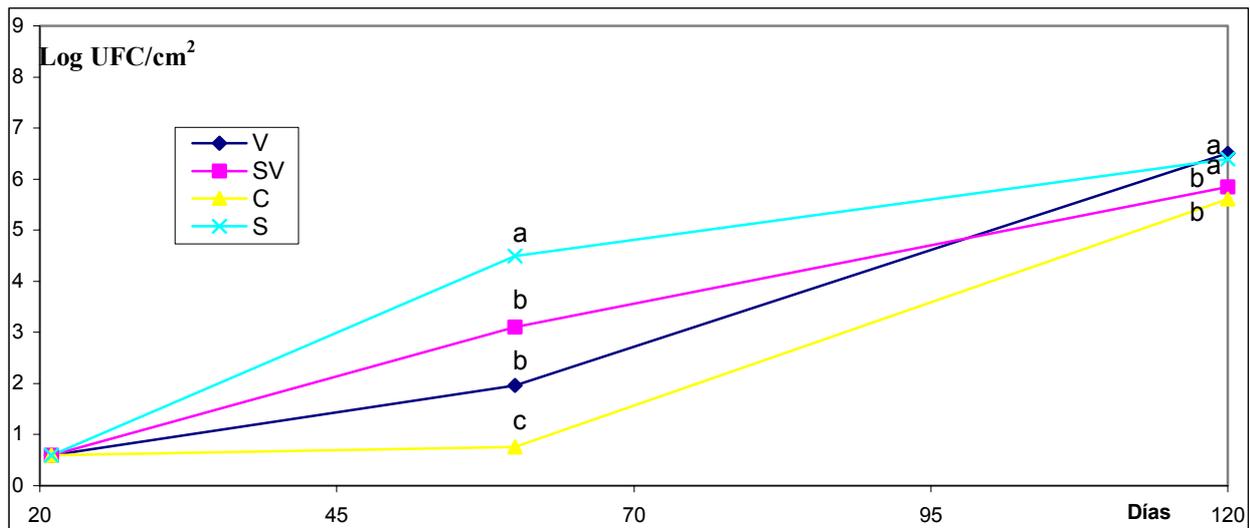


Gráfico 4.1.8: Evolución de las levaduras desde la etapa de salado (prueba 3.1.1) ¹.
¹ Para un mismo periodo de tiempo, valores señalados con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Etapas de salado y reposo

La tabla 4.1.3 recoge los recuentos en la superficie del jamón tras la etapa de salado (antes de la inoculación), y la tabla 4.1.4 muestra el resultado del ANOVA sobre los recuentos microbiológicos superficiales al final de la etapa de reposo. Tal y como se preveía, la inoculación dio lugar a un aumento significativo de los valores de todos los recuentos efectuados al final de la etapa de reposo, mientras que el tipo de reposo afectó a los de bacterias ácido-lácticas y la interacción afectó significativamente a las levaduras y a los cocos GC+. No hubo efecto significativo del factor canal.

Tabla 4.1.3. Recuentos microbiológicos superficiales de jamones pertenecientes a la prueba 3.1.1. al final de la etapa de salado (log u.f.c./cm²).

Parámetro	Log u.f.c./g	Desviación standard
Microorganismos halotolerantes	3,1	0,6
Cocos GC+	3,3	0,5
Bacteria ácido-lácticas	1,8	0,8
Levaduras	0,6	0,2

Tabla 4.1.4. Resultado del ANOVA para los recuentos microbiológicos superficiales de jamones pertenecientes a la prueba 3.1.1. al final de la etapa de reposo ($\log \text{u.f.c./cm}^2$)¹.

Parámetro	Cultivo			Vacío			Canal	Cultivo * Vacío	e.s.r. ²
	SI	NO	Sig. ³	SI	NO	Sig.	Sig.	Sig.	
Microorganismos halotolerantes	5,8	1,6	***	3,9	3,5	n.s	n.s	n.s	0,6
Cocos GC+	5,6	1,7	***	3,7	3,5	n.s.	n.s	*	0,5
Bacterias ácido-lácticas	5,3	1,2	***	3,8	2,7	**	n.s	n.s.	0,5
Levaduras	3,7	1,4	***	2,6	2,3	n.s.	n.s	**	0,7

¹ Los valores en negrita indican que, para ese parámetro, la diferencia entre los dos niveles del factor fue significativa ($p < 0,05$). $n = 8$ para cada nivel del factor cultivo y vacío. ² error estándar residual. ³ Significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$.

Los recuentos de Cocos GC+, sufrieron un descenso en los jamones no inoculados durante el reposo. En los jamones inoculados, este descenso no se pudo evidenciar con los datos disponibles, ya que no se dispuso de datos sobre el número de microorganismos presentes en la superficie del jamón inmediatamente después de la inoculación. El vacío dio origen a un aumento de casi 1 unidad $\log \text{u.f.c./ cm}^2$ de los recuentos en los jamones inoculados mientras que no afectó a los jamones no inoculados (ver gráfico 4.1.6). Por ello, el factor interacción fue significativo para los cocos GC+.

Respecto a las bacterias ácido-lácticas, los recuentos al final del reposo fueron similares a los de los cocos GC+, excepto en los jamones C, donde prácticamente desaparecieron. El reposo en vacío causó un aumento significativo de 1,1 unidad $\log \text{u.f.c./ cm}^2$ en los recuentos de este grupo bacteriano (ver gráfico 4.1.7).

Como se puede ver en el gráfico 4.1.8, el efecto significativo del factor interacción observado sobre los recuentos de levaduras tras el reposo se explica porque el vacío dio lugar a un descenso importante (de 10^5 a 10^3 u.f.c./cm^2) del número de levaduras en los jamones inoculados, mientras que en los jamones no inoculados tuvo el efecto contrario, aunque en menor magnitud.

Resultados

Etapa de secado

La tabla 4.1.5 muestra los resultados del ANOVA sobre los recuentos realizados tras 120 días de procesado, correspondientes a 60 días de la etapa de secado.

Tabla 4.1.5. Resultado del ANOVA para los recuentos microbiológicos superficiales de jamones pertenecientes a la prueba 3.1.1. tras 60 días de la etapa de secado ($\log \text{u.f.c./cm}^2$)¹.

Parámetro	Cultivo			Vacío			Canal	Cultivo * Vacío	e.s.r. ²
	SI	NO	Sig. ³	SI	NO	Sig.	Sig.	Sig.	
Microorganismos halotolerantes	7,2	7,1	n.s	7,6	6,7	* * *	n.s	n.s	0,5
Cocos GC+	7,1	7,1	n.s	7,6	6,7	* * *	n.s	n.s	0,4
Cocos GC+ (carne) ⁴	9,1	8,1	*	8,5	8,7	n.s.	n.s	n.s	0,4
Bacterias ácido-lácticas	3,7	1,8	* * *	2,9	2,4	n.s	n.s	n.s	1,3
Levaduras	6,1	6,1	n.s.	6,2	6,0	*	*	* *	0,2

¹ Los valores en negrita indican que, para ese parámetro, la diferencia entre los dos niveles del factor fue significativa (con $p < 0,05$, excepto los valores en cursiva, en los que $p < 0,1$). $n = 8$ para cada nivel del factor cultivo y vacío. ² Error estándar residual.

³ Significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$. ⁴ Resultado de muestras de músculo Adductor obtenidas por el método de disección (u.f.c./g).

En la primera etapa del secado, los recuentos de cocos GC+ experimentaron un crecimiento importante y alcanzaron valores de 10^7 u.f.c./cm². Este aumento en su número fue más importante en los jamones no inoculados (de 1,7 a 7,1 log ufc/cm²) que en los inoculados (de 5,6 a 7,1 log ufc/cm²), de tal manera que los recuentos se igualaron en ambos tipos de jamones. El envasado al vacío provocó un aumento significativo (de 0,9 unidades log. ufc/cm²) en el número de cocos GC+. Si bien la inoculación no influyó en los recuentos de cocos GC+ tomados en la superficie mediante el sistema de escobillón, sí causó un aumento de 1 unidad log./g en las muestras de carne tomadas en el músculo *Adductor*.

El número de levaduras también aumentó durante esta primera etapa de secado, especialmente en los jamones no inoculados. Estos últimos, a pesar de partir de un número más bajo tras el reposo, llegaron a alcanzar los mismos recuentos que los jamones inoculados, al igual que lo sucedido con los cocos GC+.

El resultado del ANOVA muestra que hubo un efecto significativo del factor interacción cultivo* vacío sobre las levaduras y es que, tal y como se vio con los recuentos tras el reposo, el reposo en vacío dio lugar a un menor número de levaduras en los jamones inoculados, mientras que en los jamones no inoculados tuvo el efecto contrario (ver gráfica 4.1.8), aunque las diferencias ocasionadas fueran sólo del orden de 0,8 unidades log. ufc/cm².

Contrariamente a lo ocurrido con los Cocos GC+ y las levaduras, el número de bacterias ácidolácticas se redujo considerablemente en los primeros 60 días de secado. La diferencia entre jamones inoculados o no, aunque todavía significativa, sólo fue de 1,9 unidades log. ufc/cm² mientras que no se apreció un efecto significativo del tipo de reposo sobre los recuentos de estas bacterias.

Producto final

Los resultados correspondientes al producto final se presentan en la tabla 4.1.6. En general, los recuentos obtenidos fueron muy bajos (10^3 ufc/g), siendo ligeramente superiores en el músculo ST. La inoculación no tuvo ningún efecto significativo en los recuentos finales y el vacío originó un aumento de los recuentos de cocos GC+ en ambos músculos (diferencias de 0,5 unidades log. ufc/g en el RF y de 1,0 en el ST), aunque sólo fue significativo en el músculo ST.

Los recuentos de levaduras estuvieron por debajo del de Cocos GC+, observándose unos recuentos ligeramente más elevados en las muestras de jamones que permanecieron envasados al vacío durante el reposo.

Los recuentos de bacterias ácido-lácticas fueron inferiores a 1,0 log u.f.c./g en todos los jamones muestreados.

Resultados

Tabla 4.1.6. Resultado del ANOVA para los recuentos microbiológicos al final del proceso correspondientes a los jamones pertenecientes de la prueba 3.1.1 ($\log \text{u.f.c./cm}^2$)¹.

Parámetro	Cultivo			Vacío			Canal	Cultivo * Vacío	e.s.r. ²
	SI	NO	Sig. ³	SI	NO	Sig.	Sig.	Sig.	
Músculo RF									
Halotolerantes	2,4	2,7	n.s.	2,8	2,3	n.s.	n.s.	n.s.	0,7
Cocos GC+	2,1	2,6	n.s.	2,6	2,1	n.s.	n.s.	n.s.	0,6
Ácido-lácticas ⁴	<1,0	<1,0	-	<1,0	<1,0	-	-	-	-
Levaduras	2,3	1,9	n.s.	2,4	1,8	*	+	n.s.	0,2
Músculo SM									
Halotolerantes	3,2	3,3	n.s.	3,6	2,9	+	n.s.	n.s.	0,6
Cocos GC+	2,9	2,9	n.s.	3,4	2,4	*	n.s.	n.s.	0,5
Ácido-lácticas ⁴	<1,0	<1,0	-	<1,0	<1,0	-	-	-	-
Levaduras	1,7	1,9	n.s.	2,0	1,5	**	n.s.	n.s.	0,4

¹ Los valores en negrita indican que, para ese parámetro, la diferencia entre los dos niveles del factor fue significativa (con $p < 0,05$, excepto los valores en cursiva, en los que $p < 0,1$. $n=8$ para cada nivel del factor cultivo y vacío. ² Error estándar residual. ³ Significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$. ⁴ ANOVA no efectuado.

Grasa subcutánea

Los resultados del ANOVA sobre los recuentos microbiológicos superficiales tomados en varias localizaciones de la grasa subcutánea en la etapa de secado (120 días de proceso) se recogen en la tabla 4.1.7. La tabla 4.1.8 muestra, para cada uno de los 4 grupos de jamones (C, V, S y SV), los recuentos de aquellos grupos microbianos en los cuales hubo un efecto significativo de la interacción cultivo*vacío.

Se registraron efectos significativos del vacío y de la interacción para todos los microorganismos estudiados, excepto para las bacterias ácido-lácticas.

A diferencia del magro, en la grasa subcutánea la flora dominante fueron las levaduras, cuyos recuentos coincidieron con los de la flora halotolerante. Al igual que sucedió en el magro, los jamones envasados al vacío registraron los mayores recuentos de levaduras. La inoculación

produjo un ligero aumento (no significativo) del número de levaduras únicamente en los jamones con un reposo normal.

Tabla 4.1.7. Resultado del ANOVA para los recuentos microbiológicos superficiales de la grasa subcutánea tras 60 días de secado de jamones pertenecientes a la prueba 3.1.1: (log u.f.c./g)¹.

Parámetro	Cultivo			Reposo			Canal	Cultivo * Reposo	e.s.r. ²
	SI	NO	Sig. ³	Vacío	Normal	Sig.	Sig.	Sig.	
Halotolerantes	8,5	8,4	n.s.	9,3	7,9	*	n.s.	*	0,8
Cocos GC+	6,8	7,1	n.s.	7,4	6,5	*	*	+	0,3
Ácido-lácticas ⁴	< 1,0	< 1,0	-	< 1,0	< 1,0	-	-	-	-
Levaduras	8,6	8,5	n.s.	9,3	7,8	*	n.s.	*	0,8

¹ Los valores en negrita indican que, para ese parámetro, la diferencia entre los dos niveles del factor fue significativa (con $p < 0,05$, excepto los valores en cursiva, en los que $p < 0,1$). $n = 8$ para cada nivel de los factores cultivo y vacío ² error estándar residual. ³ Significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$. ⁴ ANOVA no efectuado.

Tabla 4.1.8. Recuentos microbiológicos de grasa subcutánea de la prueba 3.1.1. en cada proceso (log u.f.c./g).¹

Parámetro	PROCESO			
	SV	S	V	C
Halotolerantes	9,1 ^a	8,2 ^b	9,4 ^a	7,5 ^b
Cocos GC+	6,9 ^a	6,7 ^a	7,8 ^b	6,4 ^a
Levaduras	9,0 ^a	8,2 ^b	9,5 ^a	7,5 ^b

¹ Los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$). $n = 4$ para cada proceso.

Respecto a los cocos GC+, sus recuentos fueron entre 1 y 2 unidades logarítmicas por debajo de los de las levaduras. Como sucedió con éstas, los jamones del lote V presentaron los recuentos mayores. El único hecho destacable es que los jamones C mostraron los recuentos más bajos y que la diferencia entre éstos y los correspondientes a los jamones SV no fue importante.

Resultados

4.1.5. EVALUACIÓN VISUAL Y DEL OLOR DURANTE EL PROCESO

El resultado del ANOVA sobre los resultados de aspecto y olor realizados a los 120 días, 210 días y en el producto final se muestran en las tablas 4.1.9, 4.1.10 y 4.1.11 respectivamente. La evolución de las puntuaciones de dichos descriptores correspondientes a cada uno de los 4 procesos (C, S, V y SV) se muestran en los gráficos del 4.1.9 al 4.1.16. En la figura 4.1.1 aparecen fotos de jamones representativas de cada uno de los 4 procesos estudiados tomadas a los 210 días de proceso.

En general el tipo de vacío, la inoculación y la interacción de ambos tuvieron un efecto significativo en una parte importante de los parámetros, mientras que el factor canal sólo tuvo un efecto significativo sobre la fusión de la grasa durante todo el proceso, sobre el área cubierta de mohos a los 120 días de procesado y sobre el brillo de la grasa a los 210 días y en el producto final

Tabla 4.1.9. Resultado del ANOVA para los descriptores del análisis sensorial de aspecto y olor de jamones pertenecientes a la prueba 3.1.1 a los 120 días de proceso.¹

Descriptor	Cultivo			Vacío			Canal	Cultivo * Vacío	e.s.r ²
	SI	NO	Sig. ³	SI	NO	Sig.	Sig.	Sig.	
Brillo grasa	3,1	3,4	n.s.	1,2	5,3	* * *	n.s.	n.s.	1,1
Hongos de cobertura	0,2	4,1	* * *	1,6	2,6	*	*	+	1,1
Aspecto a levadura	5,8	3,1	* * *	5,2	3,7	* *	n.s.	* * *	1,8
Olor añejo	2,1	4,0	* * *	2,1	4,0	* * *	+	n.s.	0,7
Olor levadura	2,3	1,7	n.s.	2,8	1,2	*	n.s.	n.s.	1,0
Olor curado	1,2	3,9	* * *	2,4	2,7	n.s.	n.s.	n.s.	1,0
Fusión de la grasa	0,9	1,9	* *	0,9	1,9	* *	* *	n.s.	0,6
Olor afrutado ⁴	1,7	0,0	-	1,2	0,5	* *	n.s.	n.s.	0,9

¹ Los valores en negrita indican que, para ese parámetro, la diferencia entre los dos niveles del factor fue significativa (con $p < 0,05$). $n = 18$ para cada nivel de los factores cultivo y vacío. ² Error estándar residual. ³ Significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; * : $p < 0,05$; * * : $p < 0,01$; * * * : $p < 0,001$.; -: ANOVA no efectuado. ⁴ Para el aroma afrutado, el ANOVA sólo se efectuó con los valores correspondientes a los jamones inoculados, ya que este descriptor únicamente se detectó en éstos.

Tabla 4.1.10. Resultado del ANOVA para los descriptores del análisis sensorial de aspecto y olor de jamones pertenecientes a la prueba 3.1.1 a los 210 días de proceso.¹

Descriptor	Cultivo			Vacío			Canal	Cultivo * Vacío	e.s.r ²
	SI	NO	Sig. ³	SI	NO	Sig.	Sig.	Sig.	
Brillo grasa	2,1	3,4	*	0,8	4,6	***	*	+	1,3
Hongos de cobertura	0,4	6,0	***	2,3	4,1	***	n.s.	***	1,7
Aspecto a levadura	7,2	3,2	***	5,6	4,8	+	n.s.	***	2,3
Olor añejo	1,1	2,3	**	1,4	1,9	n.s.	n.s.	n.s.	1,1
Olor levadura	1,8	0,8	***	1,8	0,8	**	n.s.	*	0,7
Olor curado	1,7	3,4	***	3,0	2,2	**	n.s.	***	1,4
Fusión de la grasa	1,9	2,3	n.s.	1,8	2,4	**	*	***	0,9
Olor afrutado/avinado ⁴	2,3	0,0	-	1,5	0,8	*	n.s.	*	0,9

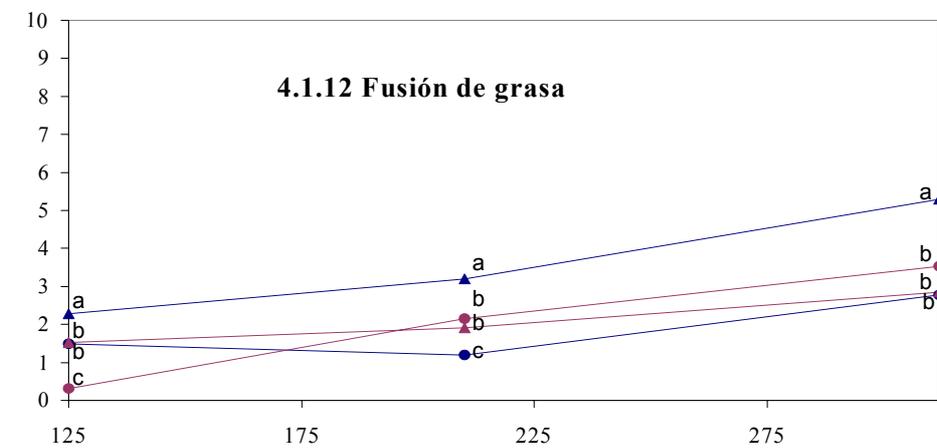
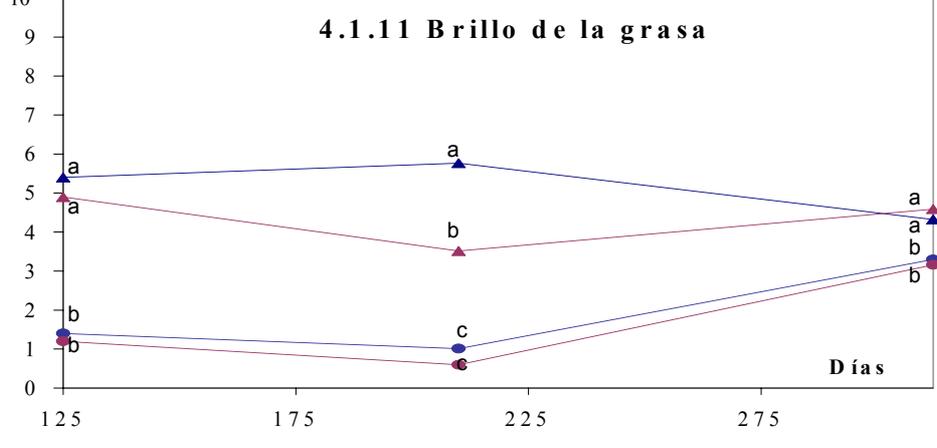
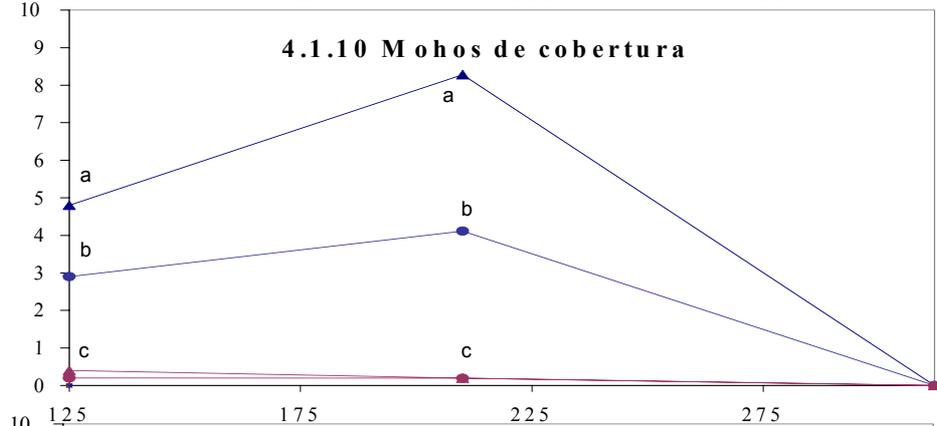
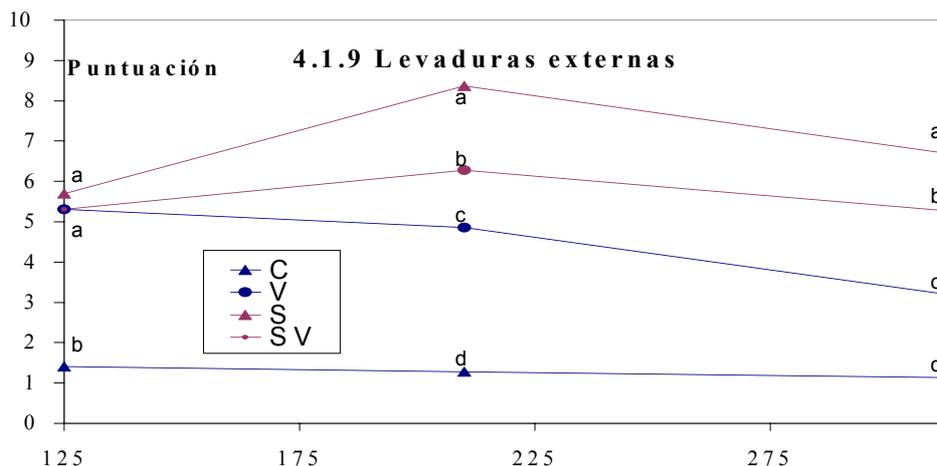
¹ Los valores en negrita indican que, para ese parámetro, la diferencia entre los dos niveles del factor fue significativa (con $p < 0,05$, excepto los valores en cursiva, en los que $p < 0,1$). $n = 18$ para cada nivel de los factores cultivo y vacío. ² Error estándar residual. ³ Significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$. ⁴ Para el olor afrutado-avinado, el ANOVA sólo se efectuó con los valores correspondientes a los jamones inoculados, ya que este descriptor únicamente se desarrolló en éstos.

Tabla 4.1.11. Resultado del ANOVA para los descriptores del análisis sensorial de aspecto y olor de jamones pertenecientes a la prueba 3.1.1 al final del proceso.¹

Descriptor	Cultivo			Vacío			Canal	Cultivo * Vacío	e.s.r ²
	SI	NO	Sig. ³	SI	NO	Sig.	Sig.	Sig.	
Brillo grasa	3,9	3,8	n.s.	3,2	4,5	*	**	n.s.	1,3
Hongos de cobertura	0	0	-	0	0	-	-	-	-
Aspecto a levadura	6,0	2,2	***	4,4	3,9	n.s.	n.s.	**	1,6
Olor añejo	2,6	3,3	*	2,1	3,7	**	n.s.	n.s.	1,3
Olor levadura	3,0	1,2	***	2,6	1,6	*	n.s.	**	1,0
Olor curado	3,6	4,1	+	3,2	4,5	**	n.s.	*	0,8
Fusión de la grasa	3,1	4,0	*	3	4,1	*	+	***	0,2
Olor afrutado-avinado	0	0	-	0	0	-	-	-	-

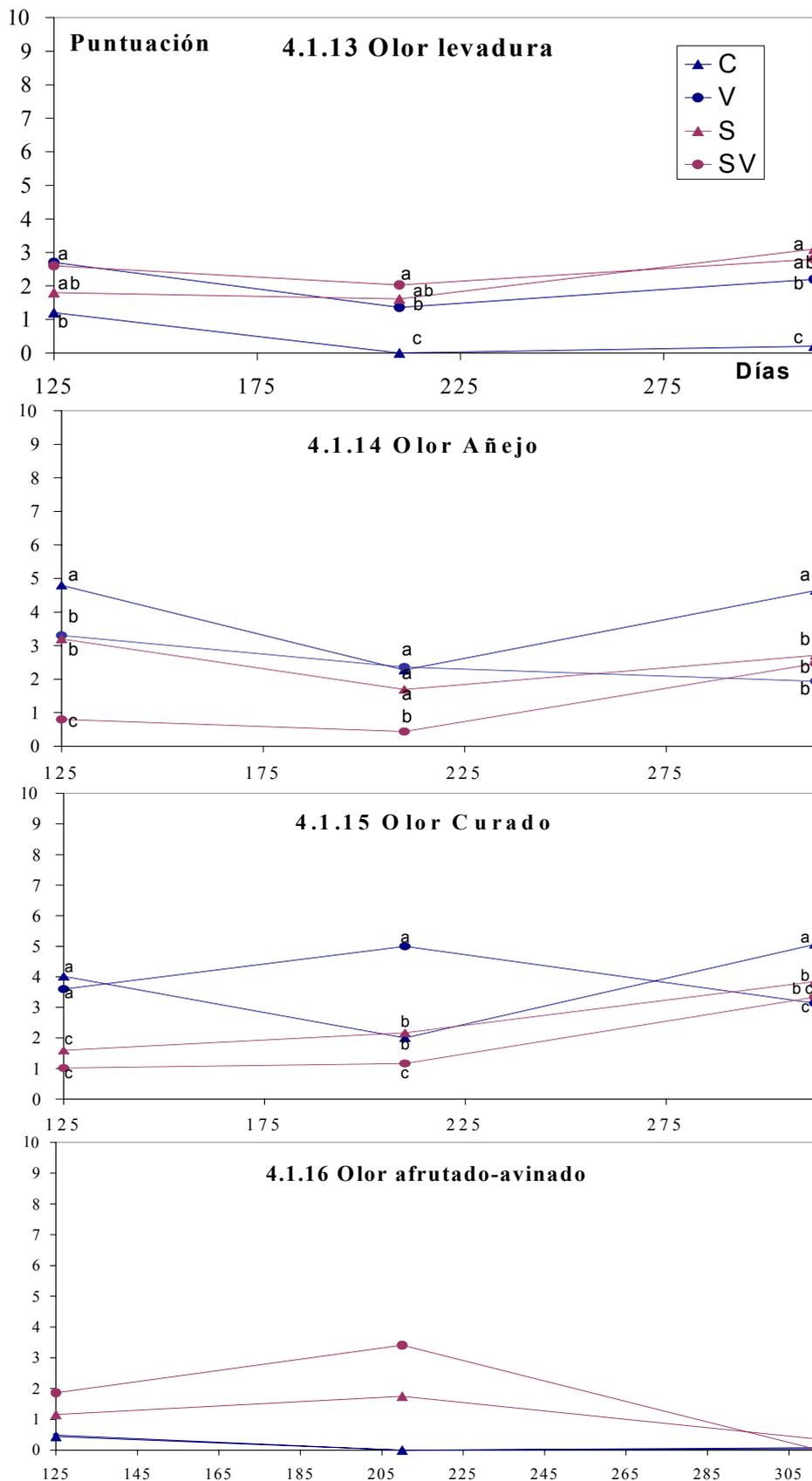
¹ Los valores en negrita indican que, para ese parámetro, la diferencia entre los dos niveles del factor fue significativa (con $p < 0,05$, excepto los valores en cursiva, en los que $p < 0,1$). $n = 18$ para cada nivel de los factores cultivo y vacío. ² Error estándar residual. ³ Significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$; -: ANOVA no efectuado.

Resultados



Gráficos del 4.1.9 al 4.1.12. Evolución de algunos descriptores del análisis de olor y aspecto durante el procesado de jamones de la prueba 3.1.1 ¹

¹ Para un mismo periodo de tiempo, valores señalados con letras distintas indican diferencias significativas (p < 0,05)



Gráficos del 4.1.13 al 4.1.16. Evolución de algunos descriptores del análisis de olor y aspecto durante el procesado de jamones de la prueba 3.1.1 ¹

¹ Para un mismo periodo de tiempo, valores señalados con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Resultados

A) JAMÓN C



B) JAMÓN S



C) JAMON V



D) JAMON SV



Figura 4.1.1. Fotografías de jamones correspondientes a la prueba 3.1.1 a los 210 días de proceso

El área del jamón con aspecto de estar cubierta por levaduras, presentó un característico color blanco sin presencia de micelio (ver figura 4.1.1, fotos B y D) . Tal y como se aprecia en la gráfica 4.1.9, a los 120 días todos los jamones presentaron un área apreciable, excepto los del tratamiento C. Las diferencias entre los lotes fueron apreciables a partir de los 210 días debido a que en los jamones del tratamiento V no hubo aumento del área cubierta y sí lo hubo en los jamones de los tratamientos S y SV, siendo este aumento mayor en los primeros. Posteriormente, el área cubierta de este color blanco disminuyó continuamente en todos los jamones y las diferencias entre los 4 grupos de jamones se siguieron manteniendo.

El desarrollo de una capa superficial de mohos visible en la superficie, que es común en el jamón español, sólo tuvo lugar en los jamones no inoculados. El área cubierta de mohos se vio influida por el tipo de reposo ya que el vacío originó puntuaciones menores de este descriptor. La zona del magro cubierta de moho aumentó en las primeras etapas del secado, paralelamente a la disminución de la a_w superficial y la diferencia entre los jamones S y V aumentó con el tiempo (ver gráfica 4.1.10). Al final del proceso los mohos de los jamones no inoculados habían desaparecido por completo debido al crecimiento importante de ácaros, los cuales se alimentaron de los mohos.

Respecto al brillo de la grasa subcutánea, (gráfica 4.1.11) se observa como el vacío causó una disminución de este descriptor y sólo al final del secado los jamones V y SV llegaron a tener un brillo evidente y cercano al de los jamones con un reposo standard. En éstos últimos, este parámetro no sufrió importantes variaciones durante el secado, con la excepción de una reducción en los jamones del tratamiento S entre los 120 y los 210 días, lo que dio lugar a una diferencia significativa de 2,3 puntos entre los jamones de los tratamientos C y S. Esta diferencia desapareció al final del proceso.

El área del magro del jamón cubierta por la grasa de fusión aumentó en general en mayor medida durante la segunda mitad del secado que durante la primera, debido al aumento de la temperatura en el secadero (gráfica 4.1.12). En general, la inoculación y el envasado en vacío en el reposo causaron una reducción de las puntuaciones de este atributo.

Por lo que se refiere al olor a levadura (gráfica 4.1.13), su situación al principio del secado fue similar a la de las puntuaciones del área cubierta por las mismas (gráfica 4.1.9), esto

Resultados

es, los jamones C presentaron el valor más bajo (1,2), mientras que las puntuaciones de los demás grupos no fueron significativamente diferentes (entre 1,8 y 2,7). Posteriormente, el olor a levadura disminuyó de manera importante en los jamones no inoculados, desapareciendo prácticamente en los jamones C. Por el contrario, en los jamones inoculados se mantuvo igual, siendo la intensidad del olor a levadura de los jamones SV significativamente mayor a la de los jamones V. En la última etapa de secado, el olor a levaduras aumentó ligeramente en todos los jamones excepto en los control y en el producto final se mantuvo prácticamente el mismo orden entre lotes.

El vacío en la etapa de reposo y la inoculación dieron lugar a valores inferiores en la intensidad del olor añejo al inicio del secado. Posteriormente, las puntuaciones descendieron en todos los jamones, excepto en los SV, cuya puntuación ya era baja (ver gráfica 4.1.14). En la segunda mitad del secado se produjo un aumento de la intensidad en todos los jamones, excepto en los jamones V.

Respecto al olor curado, su intensidad al inicio del secado fue significativamente menor en los jamones inoculados (2,7 puntos menos), mientras que el tipo de reposo no tuvo ningún efecto significativo. Posteriormente hubo un incremento de su intensidad en todos los jamones, excepto en los del tratamiento C, en los cuales se registró un importante descenso (ver gráfica 4.1.15). En la segunda mitad del secado hubo un aumento importante de las puntuaciones, excepto en los jamones V. Este aumento fue máximo en los jamones del grupo C, de manera que al final del proceso estos jamones obtuvieron una puntuación significativamente mayor (5,1 puntos), mientras que el resto de jamones presentan puntuaciones que no diferieron significativamente.

El olor afrutado se detectó al inicio del secado en los jamones inoculados, seguido de un olor avinado a la mitad del proceso. En el producto final no se detectaron ninguna de estas dos notas, tal y como se puede ver en la gráfica 4.1.16. Las puntuaciones fueron más intensas en los SV que en los S, llegando a alcanzar una diferencia de 1,6 puntos en el día 215. Estas notas no aparecieron en los jamones no inoculados

A lo ya mencionado, hay que añadir que los jamones inoculados presentaban una superficie más dura al tacto a los 210 días.

4.1.6 ANÁLISIS SENSORIAL EN EL PRODUCTO FINAL

4.1.6.1. Aspecto al corte del producto final

Los resultados del ANOVA sobre los descriptores del análisis del aspecto al corte del producto final se recogen en la tabla 4.1.12. El factor canal tuvo efecto significativo en todos los parámetros, excepto en el velo blanco del SM y la coquera. El vacío durante el reposo afectó al velo blanco en BF y en SM originando un aumento significativo de 1,3 y 0,5 respectivamente y al brillo en el músculo BF dando lugar a un aumento significativo de 0,5 puntos.

Tabla 4.1.12. Resultado del ANOVA para los descriptores del análisis sensorial del aspecto al corte de los jamones pertenecientes a la prueba 3.1.1.¹

Descriptor	Cultivo			Vacío			Canal	Cultivo * Vacío	e.s.r. ²
	SI	NO	Sig. ³	SI	NO	Sig.	Sig.	Sig.	
Uniformidad de Color	6,2	6,1	n.s.	6,1	6,2	n.s.	* *	n.s.	0,5
Brillo BF	3,3	3,2	n.s.	3,5	3,0	+	* *	n.s.	0,4
Velo blanco BF	3,8	3,2	n.s.	4,1	2,8	*	* *	n.s.	1,0
Coquera	2,9	2,1	n.s.	1,9	3,1	n.s.	n.s.	n.s.	1,7
Velo blanco SM	0,7	0,8	n.s.	1,0	0,5	*	n.s.	n.s.	0,5
Halos ⁴	8	6	-	8	6	-	-	-	-

¹ Los valores en negrita indican que, para ese parámetro, la diferencia entre los dos niveles del factor fue significativa (con $p < 0,05$, excepto los valores en cursiva, en los que $p < 0,1$). $n = 18$ para cada nivel de los factores cultivo y vacío ² Error estándar residual. ³ Significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; * *: $p < 0,01$; * * *: $p < 0,001$. ⁴ Número de jamones que presentaron un halo de nitrificación.

4.1.6.2 Flavor y textura en el producto final

Los resultados del ANOVA y las puntuaciones para algunos descriptores del análisis de flavor y textura en el músculo SM del producto final se muestran en la tabla 4.1.13. Además, para aquellos descriptores sobre los cuales no se pudo realizar el ANOVA, se muestra el número de jamones en los que se detectó dicho descriptor. La tabla 4.1.14 muestra los resultados correspondientes a algunos de estos descriptores para cada uno de los 4 procesos. En esta tabla aparecen las puntuaciones otorgadas a aquellos descriptores en los que hubo efecto de la

Resultados

interacción, así como la frecuencia (número de jamones) con la que se detectaron unos determinados atributos sobre los cuales no se pudo realizar el ANOVA.

La aplicación del cultivo iniciador tuvo efectos importantes en el flavor de los jamones. Originó un aumento significativo de 1,4 puntos en la intensidad del flavor a pienso, una disminución significativa del sabor dulce de 1 punto y de la incidencia del flavor añejo, así como la aparición de la nota floral, la cual únicamente se detectó en los jamones SV, concretamente en 6 de los 9 jamones de dicho grupo. Asimismo, la inoculación también dio lugar tanto a un aumento de la incidencia del flavor asociado al defecto de coquera, como a la disminución de la intensidad de la nota fruto seco.

Por su parte, el envasado al vacío dio lugar a un aumento significativo ($p < 0,05$) de la intensidad de la nota pienso en 0,8 puntos y del flavor a levadura ($p < 0,1$) en 0,6 puntos. Asimismo, también provocó la aparición del flavor floral, anteriormente comentada y un aumento de la incidencia del flavor a coquera. Por otro lado causó una reducción importante de la incidencia del flavor añejo. Este factor también afectó de modo significativo a la nota picante, ya que, como se puede ver en la tabla 4.1.14, el vacío en el reposo originó una disminución de su intensidad únicamente en los jamones no inoculados.

Como consecuencia de los efectos del cultivo iniciador y del envasado al vacío, el flavor añejo prácticamente sólo se detectó en los jamones C (ver tabla 4.1.14.).

Además de los efectos mencionados sobre el flavor del jamón, el tipo de reposo también influyó en la textura. El envasado al vacío durante el reposo dio lugar a una reducción significativa de 1,1 puntos en la dureza y de 0,8 puntos en la fibrosidad. Por su parte, el uso del cultivo iniciador no tuvo ningún efecto significativo sobre la textura.

Cabe destacar que tanto el reposo en vacío, como la aplicación del starter provocaron una disminución significativa de alrededor de un punto en la aceptabilidad del músculo SM.

Se observó un efecto significativo de la interacción sobre el flavor picante, de manera que los jamones V, SV y S obtuvieron una puntuación similar de este descriptor e inferior a la que recibieron los jamones del proceso C (tabla 4.1.14).

Tabla 4.1.13. Resultado del ANOVA y frecuencias de descriptores de las catas correspondientes al músculo SM de los jamones pertenecientes a la prueba 3.1.1.^{1,2}

Descriptor	Cultivo			Vacío			Canal	Cultivo * Vacío	e.s.r. ⁴
	SI	NO	Sig.	SI	NO	Sig.	Sig.	Sig.	
FLAVOR									
Metálico	0,1	0,5	*	0,3	0,3	n.s.	*	n.s.	0,3
Animal	0,6	0,8	n.s.	0,7	0,7	n.s.	n.s.	n.s.	0,5
Dulce	1,0	2,0	**	1,5	1,5	n.s.	n.s.	n.s.	0,8
Salado	2,5	2,6	n.s.	2,5	2,6	n.s.	***	n.s.	0,2
Ácido	0,4	0,5	n.s.	0,5	0,4	n.s.	*	n.s.	0,2
Picante	0,9	1,3	**	0,9	1,3	**	***	*	0,2
Amargo	0,6	0,9	*	0,7	0,8	n.s.	*	n.s.	0,3
Añejo ³	2	9	*	2	9	*	-	-	-
Curado	0,5	1,0	n.s.	0,5	1,0	n.s.	n.s.	n.s.	0,4
Pienso	2,0	0,6	**	1,7	0,9	*	n.s.	n.s.	0,3
Levadura	1,0	0,6	+	1,2	0,6	+	n.s.	n.s.	0,2
Floral ³	6	0	*	6	0	*	-	-	-
Coquera ³	8	2	+	8	2	+	-	-	-
Agrio ³	5	2	-	4	3	-	-	-	-
Fruto seco ³	1	7	*	3	5	-	-	-	-
TEXTURA									
Adhesividad	0,4	0,5	n.s.	0,5	0,4	n.s.	*	n.s.	0,3
Dureza	5,8	5,5	n.s.	5,1	6,2	*	n.s.	n.s.	0,9
Desmenuzabilidad	4,7	4,7	n.s.	4,8	4,6	n.s.	*	n.s.	0,2
Pastosidad	1	1,1	n.s.	1,2	0,9	n.s.	***	n.s.	0,1
Fibrosidad	3,5	3,3	n.s.	3,0	3,8	*	**	n.s.	0,2
GLOBAL									
Aceptabilidad	4,6	5,7	**	4,7	5,6	*	+	n.s.	0,2

¹ Los valores en negrita indican que, para ese parámetro, la diferencia entre los dos niveles del factor fue significativa (con $p < 0,05$, excepto los valores en cursiva, en los que $p < 0,1$). Sig.: significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$ -: ANOVA no efectuado.² $n = 18$ para cada nivel de ambos de los factores cultivo y vacío. ³ Los números enteros indican el nº de jamones (sobre un total de 18) que presentan el descriptor correspondiente, sobre el cual no se pudo realizar el ANOVA. ⁴ Error estándar residual.

Resultados

Tabla 4.1.14. Puntuaciones o frecuencias de algunos descriptores de las catas correspondientes al músculo SM de los jamones pertenecientes a la 3.1.1 según el proceso seguido.

Parámetro	PROCESOS			
	SV	S	V	C
FLAVOR				
Coquera ¹	6	2	2	0
Picante ²	1,1 ^a	1,0 ^a	0,9 ^a	1,4 ^b
Añejo ¹	1	1	1	8
Floral ¹	6	0	0	0

¹ N° de jamones (sobre un total de 9) de cada proceso que presentaron una puntuación del descriptor correspondiente superior a 0.

² Media de los 9 jamones de cada proceso. Las medias con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Respecto al factor canal, tuvo un efecto significativo en una parte importante de atributos en los que se realizó el ANOVA.

Por lo que se refiere a los resultados en el músculo BF, sus resultados se muestran en las tablas 4.1.15 y 4.1.16, donde se puede apreciar que la mayor parte de atributos o bien no se aprecian o bien recibieron unas puntuaciones muy bajas.

El cultivo tuvo un efecto más importante sobre el gusto dulce del músculo BF en los jamones con un reposo en vacío, produciendo una reducción de 1 punto en los mismos (tabla 4.1.16). Por este motivo, el factor interacción fue significativo para este descriptor. Al igual que lo ocurrido en el músculo SM, en el BF también se registró una disminución en la incidencia de las notas fruto seco y añejo, así como la aparición del flavor floral atribuibles a la aplicación del cultivo iniciador. Sin embargo las diferencias no fueron tan grandes como en el SM. En el músculo BF no se observaron los efectos sobre la textura que se detectaron en el músculo SM.

En coincidencia con lo observado en el músculo SM, el factor canal fue el que tuvo una repercusión más amplia sobre los descriptores sensoriales del músculo BF, ya que tuvo un efecto significativo en la mayor parte de los atributos en los que se realizó el ANOVA. Es interesante destacar que en el caso de la aceptabilidad del músculo BF, fue el único factor que tuvo un efecto significativo, teniendo pues mayor influencia que el uso del cultivo iniciador y el tipo de reposo.

Tabla 4.1.15. Resultado del ANOVA y frecuencias de descriptores de las catas de los jamones pertenecientes a la prueba 3.1.1: Músculo BF.^{1,2}

Descriptor	Cultivo			Vacío			Canal	Cultivo * Vacío	e.s.r. ⁴
	SI	NO	Sig. ⁴	SI	NO	Sig.	Sig.	Sig.	
FLAVOR									
Picante	2,0	2,1	n.s.	2,0	2,1	n.s.	*	n.s.	0,3
Dulce	0,4	1,0	+	0,7	0,7	n.s.	*	*	0,6
Metálico	1,0	1,2	n.s.	1,1	1,1	n.s.	n.s.	n.s.	0,9
Salado	3,5	3,5	n.s.	3,5	3,5	n.s.	*	n.s.	0,3
Acido	1,1	1,1	n.s.	1,1	1,1	n.s.	n.s.	n.s.	0,3
Amargo	1,1	1,4	n.s.	1,2	1,3	n.s.	**	n.s.	0,2
Curado	0,2	0,3	n.s.	0,3	0,2	n.s.	n.s.	n.s.	0,2
Coquera ³	2	1	-	3	0	-	-	-	-
Pienso ³	8	8	-	8	8	-	-	-	-
Floral ³	3	0	-	3	0	-	-	-	-
Añejo ³	0	3	-	1	2	-	-	-	-
Fruto seco ³	2	4	-	2	4	-	-	-	-
TEXTURA									
Adhesividad	1,3	1,4	n.s.	1,5	1,2	n.s.	***	n.s.	0,3
Dureza	4,1	4,1	n.s.	4	4,2	n.s.	*	n.s.	0,3
Desmenuzabilidad	4,1	4,2	n.s.	4,3	4,1	n.s.	n.s.	n.s.	0,1
Pastosidad	1,5	1,4	n.s.	1,6	1,3	n.s.	***	n.s.	0,1
Fibrosidad	1,4	1,3	n.s.	1,4	1,3	n.s.	***	n.s.	0,2
GLOBAL									
Aceptabilidad	4,7	4,9	n.s.	4,8	4,8	n.s.	*	n.s.	0,5

¹ Los valores en negrita indican que, para ese parámetro, la diferencia entre los dos niveles del factor fue significativa (con $p < 0,05$, excepto los valores en cursiva, en los que $p < 0,1$). Sig.: significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$.² $n = 18$ para cada nivel de los factores cultivo y vacío. ³ Los números enteros indican el nº de jamones (sobre un total de 18) que presentan el descriptor correspondiente, sobre el cual no se pudo realizar el ANOVA. ⁴ Error estándar residual.

Resultados

Tabla 4.1.16. Puntuaciones o frecuencias de algunos descriptores de las catas de los jamones pertenecientes a la prueba 3.1.1 según el proceso seguido: Músculo BF.

Parámetro	PROCESOS			
	SV	S	V	C
FLAVOR				
Floral ¹	3	0	0	0
Dulce ²	0,2 ^b	0,6 ^{ab}	1,2 ^a	0,7 ^{ab}
Fruto seco ¹	0	2	2	2

¹ N° de jamones (sobre un total de 9) de cada proceso que presentaron una puntuación del descriptor correspondiente superior a 0.

² Media de los 9 jamones de cada proceso. Las medias con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

4.2a PROCESADO DE LOS JAMONES EN ATMOSFERA MODIFICADA:**1ª PRUEBA (prueba 3.1.2a)****4.2a.1. MERMAS Y DIMENSIONES**

La evolución del peso y de la merma acumulada de los jamones se pueden observar en los gráficos 4.2.1 y 4.2.2 respectivamente.

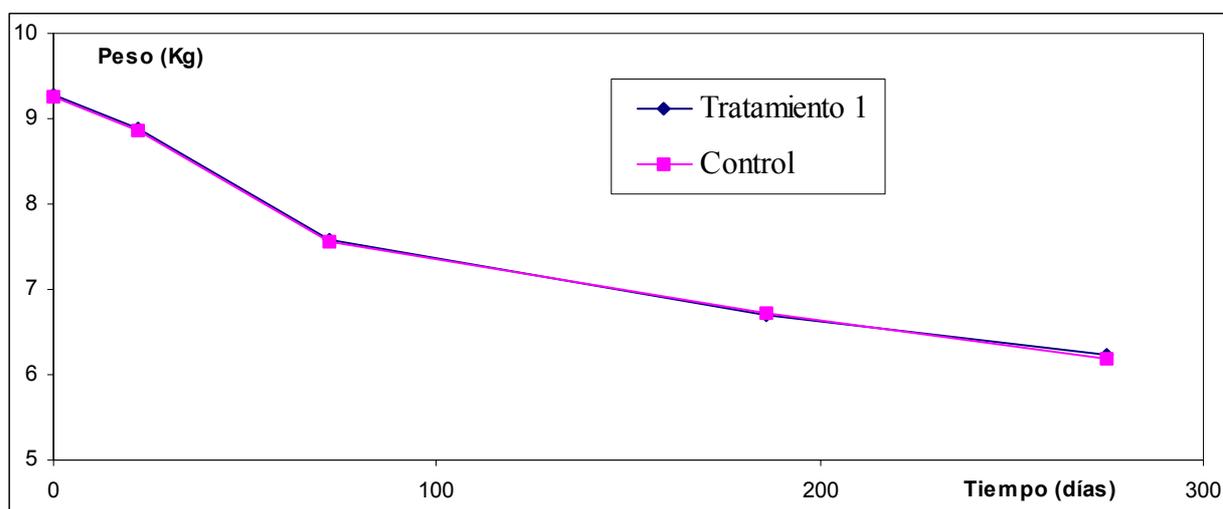


Gráfico 4.2.1. Evolución del peso de los jamones de la prueba 3.1.2a

No se observaron diferencias en ambos parámetros entre los 2 tratamientos evaluados. La merma final fue alrededor del 33 %.

Resultados

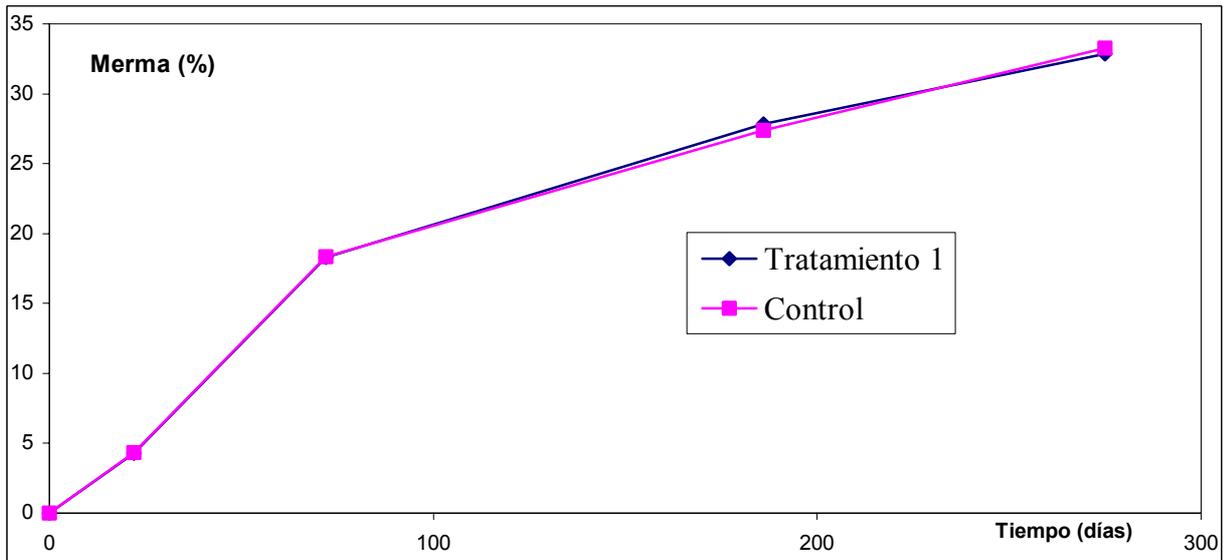


Gráfico 4.2.2. Evolución de la merma acumulada de los jamones de la prueba 3.1.2a

Los gráficos 4.2.3, 4.2.4 y 4.2.5 muestran los cambios que sufrieron, durante el procesado, el espesor, la anchura y la longitud respectivamente.

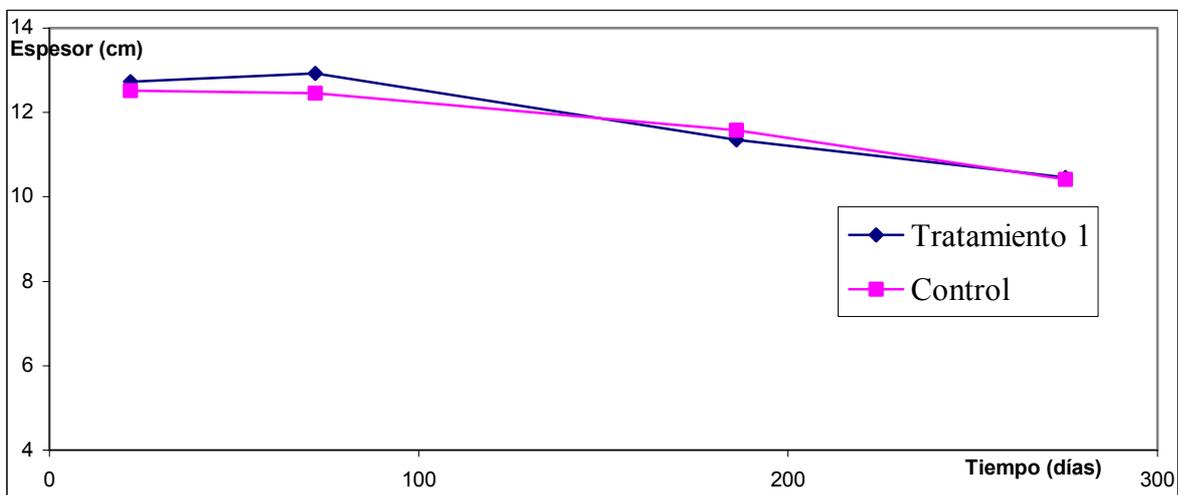


Gráfico 4.2.3. Evolución del espesor de los jamones de la prueba 3.1.2a

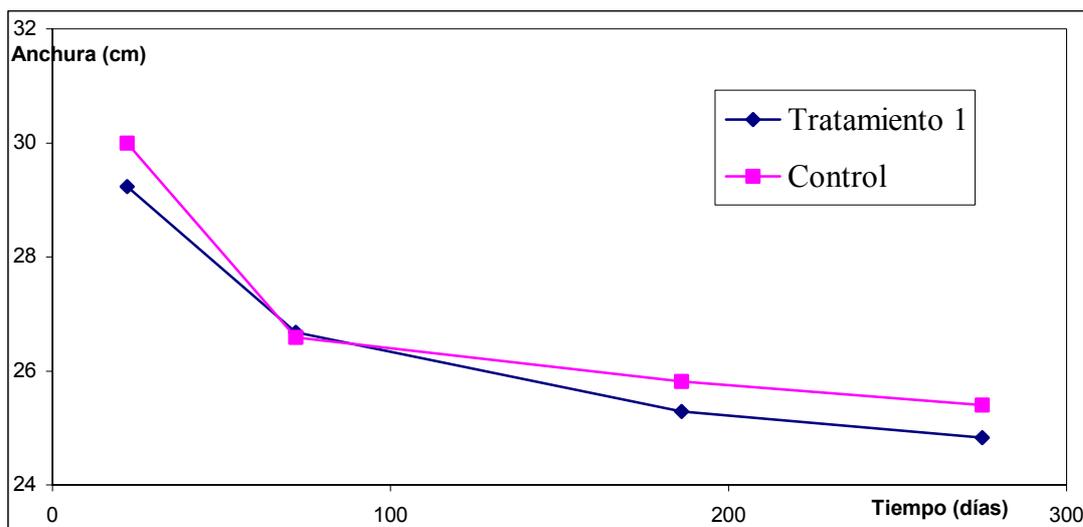


Gráfico 4.2.4. Evolución de la anchura de los jamones de la prueba 3.1.2a

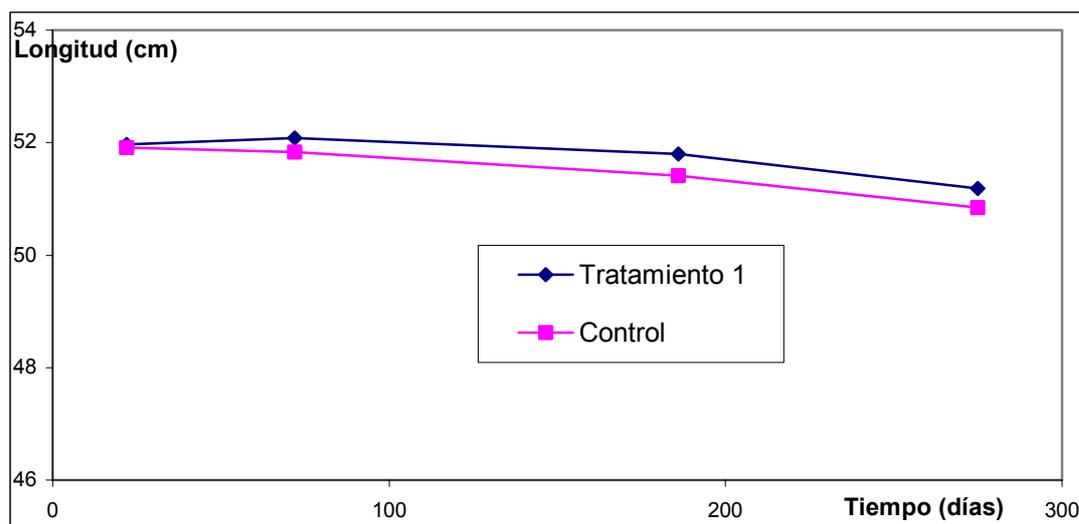


Gráfico 4.2.5. Evolución de la longitud de los jamones de la prueba 3.1.2a

Durante el reposo, el espesor aumentó ligeramente, la anchura disminuyó de manera importante y la longitud prácticamente no se modificó. Posteriormente todas las dimensiones disminuyeron lenta y progresivamente, siendo la longitud fue la que menos cambios sufrió.

En ninguna de las dimensiones se observaron efectos significativos debidos al tratamiento.

Resultados

4.2a.2. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

En la tabla 4.2.1 y 4.2.2 se muestran los resultados del ANOVA para los parámetros físico-químicos y los valores de dichos parámetros en los músculo SM y BF respectivamente.

Tabla 4.2.1. Resultados de los análisis físicoquímicos en el músculo SM correspondientes a la prueba 3.1.2a.^{1, 2, 3}

Parámetro	TRATAMIENTO			CANAL	e.s.r. ⁴
	C	1	Sig.	Sig.	
Humedad (%)	44,44 ^a	45,96 ^b	+	n.s.	1,08
ClNa (%)	5,88	5,98	n.s.	*	0,17
ClNa (% b.s.)	10,47	11,19	n.s.	*	0,38
ClNa/hum (%)	13,14	13,16	n.s.	***	0,46
Proteína (%)	41,63 ^a	39,78 ^b	*	n.s.	1,16
Proteína (% b.s.)	74,98	73,58	n.s.	*	1,62
IP (100*NNP/NT)	20,02 ^a	22,01 ^b	*	*	0,76
Aw	0,857 ^a	0,864 ^b	+	*	0,006
pH :					
Superficie	5,49 ^a	5,61 ^b	*	n.s.	0,08
Medio	5,67 ^a	5,73 ^b	*	*	0,07
Interior	5,69	5,72	n.s.	n.s.	0,11

¹ Todos los parámetros están expresados en base húmeda, excepto los indicados con: b.s.: base seca. ² Los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes con $p < 0,05$, excepto aquellos en cursiva, con $p < 0,1$. Sig.: significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$. ³ $n = 6$ para cada tratamiento. ⁴ Error estándar residual

El factor canal fue significativo ($p < 0,05$) en la mayoría de parámetros físico-químicos en uno u otro músculo.

En el músculo SM, las condiciones aplicadas en el secadero con AM causaron un aumento significativo ($p < 0,05$) en el índice de proteólisis (de 2 g NNP/100 g NT), a la vez que también originaron un aumento significativo ($p < 0,1$) de la humedad (de 1,5 g/100g) y de la actividad de agua (de 0,07 unidades). Respecto al perfil de pH del músculo SM, el valor más bajo se obtuvo en la superficie y tanto en este punto como en el punto medio, los jamones en AM registraron valores significativamente mayores ($p < 0,05$) en 0,12 y 0,06 unidades respectivamente.

Por lo que se refiere al músculo BF, la aplicación de la AM únicamente dio lugar a un aumento no significativo (de 1,7 g NNP/100g NT) en el índice de proteolisis.

Tabla 4.2.2. Resultados de los análisis físicoquímicos en el músculo BF correspondientes a la prueba 3.1.2a.^{1, 2, 3}

Parámetro	TRATAMIENTO			CANAL	e.s.r. ⁴
	C	1	Sig.	Sig.	
Humedad (%)	58,63	58,95	n.s.	* *	0,29
ClNa (%)	7,20	6,81	n.s.	*	0,35
ClNa (% b.s.)	17,37	16,58	n.s.	n.s	0,75
ClNa/hum (%)	12,30	11,58	n.s.	n.s	0,68
Proteína (%)	26,40	27,54	n.s.	*	0,63
Proteína (b.s.)	63,85	67,31	n.s.	n.s	2,94
IP (100*NNP/NT)	26,35	28,08	n.s.	*	2,07
Aw	0,887	0,889	n.s.	* *	0,001
pH final:					
Superficie	5,64	5,65	n.s.	n.s.	0,04
Medio	5,75	5,73	n.s.	n.s.	0,05
Interior	5,80	5,76	n.s.	n.s.	0,05

¹ Todos los parámetros están expresados en base húmeda, excepto los indicados con: b.s.: base seca. ² Los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$). Sig.: significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; * : $p < 0,05$; * * : $p < 0,01$; * * * : $p < 0,001$. ³ n = 6 para cada tratamiento. ⁴ Error estándar residual

4.2a.3. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

En la tabla 4.2.3 se muestran los resultados correspondientes a los recuentos microbiológicos superficiales llevados a cabo tras la etapa de salado. Se puede observar que los recuentos de microorganismos halotolerantes coincidieron con los de los cocos GC+ y fueron inferiores a 1000 ufc/ cm², no observándose efecto alguno del tipo de atmósfera. Las levaduras estuvieron por debajo de 10 ufc/cm².

Resultados

Tabla 4.2.3. Resultados del ANOVA para los recuentos microbianos superficiales al final de la etapa de salado correspondientes a la prueba 3.1.2a (log u.f.c./cm²).^{1,2}

Parámetro	TRATAMIENTO			CANAL	e.s.r. ³
	C	1	Sig.	Sig.	
Microorganismos halotolerantes	2,6	2,7	n.s.	n.s.	0,4
Cocos GC+	2,7	2,8	n.s.	n.s.	0,4
Levaduras	<0,6	<0,6	-	-	-

¹ Los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$). Sig.: significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$ -: no calculado. ² n = 4 para cada tratamiento. ³ Error estándar residual

La tabla 4.2.4 recoge los resultados de los análisis microbiológicos superficiales en dos puntos de la etapa de secado: 85 y 200 días de procesado (que se corresponden con 30 y 145 días de la etapa de secado). En ambos puntos del proceso, los recuentos de los microorganismos halotolerantes coincidieron con los de los GC+.

Tabla 4.2.4. Resultados del ANOVA para los recuentos microbianos superficiales en la etapa de secado correspondientes a la prueba 3.1.2a. (log u.f.c./g).^{1,2}

GRUPO MICROBIANO	85 DÍAS				200 DÍAS			
	Tratamiento			e.s.r. ³	Tratamiento			e.s.r.
	C	1	Sig.		C	1	Sig.	
Microorganismos halotolerantes	6,5 ^a	8,7 ^b	***	0,6	7,7	8,4	n.s.	0,3
Cocos GC+	6,7 ^a	9,0 ^b	**	0,6	7,9	8,2	n.s.	0,5
<i>B. thermosphacta</i>	< 1,0	< 1,0	-	-	< 2,0	< 2,0	-	-
Bacterias ácido-lácticas	< 1,0	< 1,0	-	-	< 1,0	< 1,0	-	-
Levaduras	5,0 ^a	5,5 ^b	*	0,4	6,4 ^a	6,9 ^b	*	0,5

¹ Para cada punto del proceso (85 o 200 días), los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$). Sig.: significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$; -: ANOVA no efectuado. ² n = 4 para cada tratamiento. ³ Error estándar residual

A los 85 días de proceso, los jamones en atmósfera modificada registraron recuentos significativamente superiores ($p < 0,05$) de cocos GC+. Posteriormente, entre ambos puntos del secado hubo un aumento del número de estas bacterias únicamente en los jamones en atmósfera de aire, por lo cual estos jamones prácticamente llegan a igualar en número a los jamones en AM.

Respecto a las levaduras, los recuentos registrados en los jamones en AM fueron sólo ligeramente superiores (en 0,5 unidades log) al resto en los dos puntos del secado.

A partir de los 150 días, hubo un crecimiento importante de mohos de manera visualmente apreciable en la superficie del jamón. Este crecimiento sucedió en mayor medida en los jamones en atmósfera modificada, en los cuales llegaron a cubrir gran parte de la superficie del magro y parte de la grasa.

Respecto a los recuentos en el producto acabado, el número de microorganismos en las muestras de los músculos RF y ST fue siempre inferior a 100 ufc/g (resultados no mostrados). La tabla 4.2.5 corresponde a los recuentos efectuados en la zona del músculo *Adductor* adyacente al hueso coxal que evidencian la presencia de un número importante de microorganismos en esta zona problemática. Los jamones control presentaron los recuentos de microorganismos halotolerantes aerobios más altos y además coincidieron con los de los cocos GC+.

Tal y como sucedió en la superficie durante el secado, no hubo diferencias importantes en el número de levaduras entre los 2 grupos de jamones correspondiente a los 2 tratamientos estudiados.

Tabla 4.2.5. Resultados del ANOVA para los recuentos microbianos correspondientes a la prueba 3.1.2a: final del proceso (músculo *Adductor*) (log u.f.c./g).^{1, 2}

PARÁMETRO	Tratamiento			Canal	e.s.r. ³
	C	1	Sig.	Sig.	
Microorganismos halotolerantes	6,8 ^a	4,3 ^b	* *	n.s.	0.9
Cocos GC+	6,2 ^a	4,1 ^b	* *	n.s.	0,8
Bacterias ácido-lácticas	<1,0	<1,0	-	-	-
Levaduras	3,5	3,6	n.s.	n.s.	0.7

¹ Los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$). Sig.: significancia; n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$; -: ANOVA no efectuado. ² $n = 4$ para cada tratamiento. ³ Error estándar residual

No se detectaron bacterias ácido lácticas *B. thermosphacta*, Enterobacterias ni clostridios sulfito-reductores en ningún jamón en ningún punto del proceso.

Resultados

4.2a.4. ÁCAROS

Durante el secado, no se detectó la presencia de ácaros en ningún jamón.

4.2a.5. ANÁLISIS SENSORIALES

4.2a.5.1. Análisis del aspecto al corte del producto final

La tabla 4.2.6 muestra los resultados correspondientes al análisis visual al corte en el producto final.

La aplicación de la atmósfera modificada provocó la desaparición del fenómeno de la coquera y un aumento significativo ($p < 0,05$) del brillo del BF (diferencia de 1,3 puntos) y del velo blanco de ambos músculos (diferencia de 1,8 puntos en SM y 1,2 en BF). En todos los jamones, el velo blanco en el músculo SM fue menor que en el BF.

El factor canal tuvo un efecto significativo sobre el brillo del BF y sobre el velo blanco de ambos músculos.

Tabla 4.2.6. Resultados del ANOVA para el análisis visual y de aroma externo y al corte correspondientes a la prueba 3.1.2a^{1,2}

Descriptor	Tratamiento			Canal	e.s.r. ³
	C	1	Sig.	Sig.	
Uniformidad de color	6,2	5,4	n.s.	n.s.	0.6
Coquera	1,1	0,0	-	-	-
Halos de nitrificación ⁴	1	1	-	-	
Brillo del BF	3,8 ^a	5,1 ^b	*	*	0.9
Velo blanco SM	1,5 ^a	3,3 ^b	*	**	0.8
Velo blanco BF	3,8 ^a	5,0 ^b	*	+	0.9

¹ Los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$). Sig.: significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$; -: ANOVA no efectuado. ² $n = 6$ para cada tratamiento. ³ Error estándar residual ⁴ N° de jamones que presentaron un halo de nitrificación.

4.2a.5.2. Análisis del flavor y textura del producto final

Los resultados de las catas en los músculo SM y BF del producto final se recogen en la tabla 4.2.7 y 4.2.8 respectivamente.

Tabla 4.2.7. Resultados del ANOVA para las catas de la prueba 3.1.2a: músculo SM^{1,2}

Descriptor	Tratamiento			Canal	e.s.r. ³
	C	1	Sig.	Sig.	
Flavor					
Metálico	0,2 ^a	0,5 ^b	+	*	0,2
Coquera	0,5	0	-	-	-
Carne cruda	0,2	0,4	n.s.	+	0,2
Animal	0,3 ^a	0,8 ^b	*	+	0,3
Dulce	0,8	1,3	n.s.	+	0,3
Salado	2,6	2,4	n.s.	**	0,2
Ácido	0,5	0,5	n.s.	*	0,3
Picante	1,5	1,5	n.s.	n.s.	0,5
Amargo	1,0	1,3	n.s.	**	0,3
Añejo	3,3 ^a	0,6 ^b	**	n.s.	0,6
Textura					
Adhesividad	0,6	0,8	n.s.	+	0,3
Dureza	5,4 ^a	4,8 ^b	+	*	0,4
Desmenuzabilidad	4,4	4,5	n.s.	*	0,3
Pastosidad	1,3 ^a	2,3 ^b	*	*	0,8
Fibrosidad	3,3 ^a	2,5 ^b	**	***	0,4
Global					
Aceptabilidad	5,7 ^a	4,3 ^b	*	*	0,7

¹ Los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes con $p < 0,05$, excepto aquellos en cursiva con $p < 0,1$. Sig.: significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$; -: ANOVA no efectuado. ² $n = 6$ para cada tratamiento. ³ Error estándar residual.

Resultados

Tabla 4.2.8. Resultados del ANOVA para las catas de la prueba 3.1.2a: músculo BF ^{1,2}

Descriptor	Tratamiento			Canal	e.s.r. ³
	C	1	Sig.	Sig.	
Flavor					
Metálico	1,5	1,5	n.s.	+	0,2
Coquera ⁴	1	0	-	-	-
Carne cruda	<i>1,0^a</i>	<i>1,5^b</i>	+	*	0,3
Animal	<i>0,5^a</i>	<i>1,0^b</i>	+	*	0,2
Dulce	0,9	0,8	n.s.	n.s.	0,3
Salado	3,4	3,1	n.s.	*	0,3
Ácido	0,9	0,8	n.s.	n.s.	0,3
Picante	2,6	2,4	n.s.	**	0,3
Amargo	1,5	1,7	n.s.	*	0,3
Añejo	1,8 ^a	0,4 ^b	*	n.s.	0,6
Textura					
Adhesividad	<i>1,7^a</i>	<i>2,0^b</i>	+	**	0,4
Dureza	4,3	4,4	n.s.	+	0,4
Desmenuzabilidad	4,2	3,9	n.s.	**	0,2
Pastosidad	1,9 ^a	2,6 ^b	*	**	0,8
Fibrosidad	0,9	0,8	n.s.	*	0,2
Global					
Aceptabilidad	4,9 ^a	3,7 ^b	**	*	0,3

¹ Los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes con $p < 0,05$, excepto aquellos en cursiva con $p < 0,1$. Sig.: significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$; -: ANOVA no efectuado. ² $n = 6$ para cada tratamiento. ³ Error estándar residual. ⁴: número de jamones que presentó el descriptor.

El tratamiento tuvo un efecto importante tanto sobre el flavor como sobre la textura del jamón. Por lo que se refiere al flavor, los jamones del tratamiento 1 registraron una mayor incidencia del flavor desagradable atribuido al defecto de la coquera, así como una ligera mayor puntuación de las notas carne cruda y animal (diferencia de 0,5 puntos en ambos músculos con $p < 0,1$), a la vez que obtuvieron puntuaciones significativamente inferiores ($p < 0,01$) de la intensidad del flavor añejo (diferencia de 2,7 puntos en el músculo SM y de 1,4 puntos en el músculo BF).

No se detectaron notas del flavor como floral, afrutado, levadura y fruto seco.

Por lo que se refiere a la textura, el tratamiento influyó de manera más importante en el músculo *Semimembranosus* que en el *Biceps Femoris*. En el primero, los jamones del tratamiento 1 obtuvieron una significativa ($p < 0,05$) mayor puntuación en la pastosidad (diferencia de 1 unidad) y una menor de la dureza ($p < 0,1$) y de la fibrosidad ($p < 0,01$) (diferencias de 0,6 unidades y 0,8 unidades respectivamente). En el BF, sólo es destacable el valor significativamente superior en 0,7 puntos de la pastosidad ($p < 0,05$) de los jamones del tratamiento 1.

Como consecuencia de todos los cambios mencionados, la aceptabilidad global de los jamones procesados bajo atmósfera modificada se vio reducida de manera significativa ($p < 0,05$), dando lugar a diferencias de 1,4 puntos en el músculo SM y de 1,2 puntos en el BF.

El factor canal tuvo un efecto significativo en los sabores metálico, salado y amargo de uno u otro músculo y en prácticamente todos los atributos de la textura en ambos músculos.

4.2b PROCESADO DE LOS JAMONES EN ATMOSFERA MODIFICADA:

2ª PRUEBA (prueba 3.1.2b)

4.2b.1. MERMAS Y PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Mermas

Los gráficos 4.2.6 y 4.2.7 muestran, respectivamente, la evolución del peso y de la merma acumulada en los jamones de cada tratamiento. No se observan diferencias entre tratamientos en ningún punto del proceso. La merma media final fue del 36,5 %.

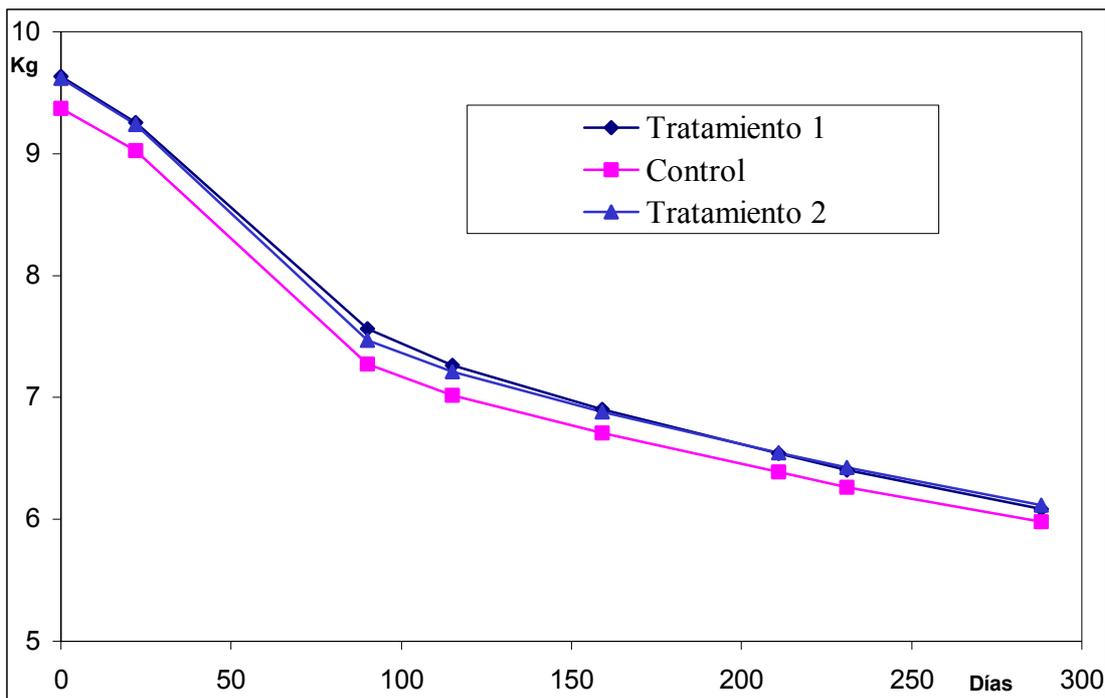


Gráfico 4.2.6. Evolución del peso de los jamones. Prueba 3.1.2b.

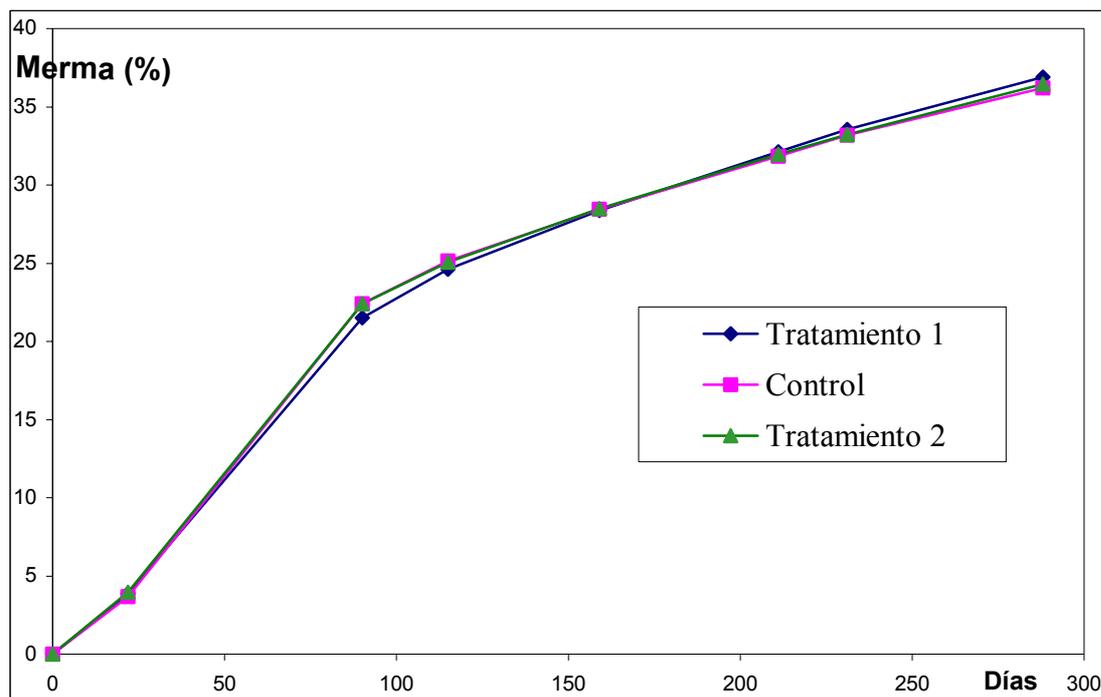


Gráfico 4.2.7. Evolución de la merma acumulada de los jamones. Prueba 3.1.2b.

Parámetros químicos

Las tablas 4.2.9 y 4.2.10 recogen los resultados del ANOVA para los parámetros físico-químicos al final del proceso y los valores de dichos parámetros en los músculos SM y BF, respectivamente. El tipo de atmósfera únicamente tuvo un efecto ($p < 0,1$) sobre el índice de proteólisis del músculo BF, ya que la aplicación de la AM durante todo el procesado de los jamones originó un aumento ($p < 0,1$) de 1g NNP/NT en el IP de dicho músculo. El factor canal afectó significativamente ($p < 0,05$) al contenido de sal y la actividad de agua de ambos músculos y a la humedad del músculo BF.

Óxidos de colesterol

En la tabla 4.2.11 se recogen los resultados correspondientes a los análisis de los óxidos de colesterol. No se detectaron ni 25-hidroxicolesterol ni 7-cetocolesterol en ninguno de los jamones analizados y el α -epoxicolesterol se detectó, pero no se pudo cuantificar. La concentración del resto de óxidos fue inferior a 1 ppm. Al aplicar una atmósfera modificada durante todo el proceso, la concentración de 7 β -hidroxicolesterol, β -epoxicolesterol y colestanoetriol se redujo significativamente ($p < 0,1$) en 13,41 %, 33,97 % y 35,16 %

Resultados

respectivamente. Por el contrario, el tipo de atmósfera no afectó al contenido de 7 α -hidroxicoolesterol.

Tabla 4.2.9. Resultados de los análisis fisicoquímicos en el músculo SM correspondientes a la prueba 3.1.2b.^{1,2,3}

Parámetro	TRATAMIENTO				CANAL	e.s.r. ⁴
	C	1	2	Sig.	Sig.	
Humedad (%)	42,03	42,46	42,80	n.s.	n.s.	0,82
CINa (%)	5,87	6,12	6,16	n.s.	*	0,13
CINa (% b.s.)	10,13	10,64	10,77	n.s.	n.s.	0,32
CINa/hum (%)	14,01	14,50	14,47	n.s.	**	0,27
Proteína (%)	45,24	44,59	44,14	n.s.	n.s.	0,53
IP (100*NNP/NT)	18,92	19,59	19,17	n.s.	n.s.	0,50
a _w superficial ⁵	0,816	0,817	0,820	n.s.	*	0,003
a _w músculo entero	0,849	0,846	0,859	n.s.	+	0,005
pH	6,00	5,92	5,90	n.s.	n.s.	0,07

¹ Todos los parámetros están expresados en base húmeda, excepto cuando se indica de otra manera. b.s.: base seca. ² Los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes con $p < 0,05$, excepto aquellos en cursiva, en los que $p < 0,1$. ³ Sig.: significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$. $n = 6$ para cada tratamiento. ⁴ Error estándar residual. ⁵ Muestra tomada de la superficie del SM y del *Gracilis*.

Tabla 4.2.10. Resultados de los análisis fisicoquímicos en el músculo BF correspondientes a la prueba 3.1.2b.^{1,2,3}

Parámetro	TRATAMIENTO				CANAL	e.s.r. ⁴
	C	1	2	Sig.	Sig.	
Humedad (%)	57,59	56,85	56,76	n.s.	+	0,77
CINa (%)	8,95	9,60	9,21	n.s.	**	0,37
CINa (% b.s.)	22,06	22,75	21,84	n.s.	*	1,04
CINa/Hum (%)	15,86	17,28	16,65	n.s.	**	0,70
Proteína (%)	29,59	29,28	29,08	n.s.	n.s.	0,79
IP (100*NNP/NT)	27,18 ^a	28,17 ^b	27,01 ^a	+	n.s.	0,62
a _w	0,883	0,880	0,884	n.s.	+	0,004
pH	6,00	5,95	5,95	n.s.	n.s.	0,04

¹ Todos los parámetros están expresados en base húmeda, excepto cuando se indica de otra manera. b.s.: base seca. ² Los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes con $p < 0,05$, excepto aquellos en cursiva, en los que $p < 0,1$. $n = 6$ para cada tratamiento. ³ Sig.: significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$. ⁴ Error estándar residual

Tabla 4.2.11. Resultados de los análisis de óxidos de colesterol superficiales correspondientes a la prueba 3.1.2b (mg/Kg)^{1, 2}

Compuesto	TRATAMIENTO ^{1, 2}				CANAL	e.s.r ⁵	C-1/C (%) ⁶
	Control	1	2 ³	Sig. ⁴	Sig. ⁴		
7 α -hidroxicolesterol	0,326	0,323	-	n.s.	*	0,031	0,92
7 β -hidroxicolesterol	0,179 ^a	0,156 ^b	-	+	*	0,020	13,41
β -epoxicolesterol	0,209 ^a	0,138 ^b	-	+	*	0,038	33,97
Colestanotriol	0,129 ^a	0,083 ^b	-	+	n.s.	0,021	35,16

¹ Todos los parámetros están expresados en base húmeda ² Los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes con $p < 0,05$, excepto aquellos en cursiva ($p < 0,1$). $n = 3$ para cada tratamiento ³ no analizado. ⁴ Sig.: significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$. ⁵ Error estándar residual. ⁶ diferencia, en %, respecto al control.

Color instrumental

En la tabla 4.2.12. se presentan los resultados de los análisis del color instrumental de la grasa subcutánea del producto final, así como los correspondientes al color de los músculos SM y BF tras el corte y tras un periodo de 15 días de almacenamiento en refrigeración de las lonchas envasadas al vacío.

El tipo de atmósfera afectó al color de la grasa, de manera que la AM causó un aumento significativo ($p < 0,05$) del parámetro L* y una disminución del b* en la grasa subcutánea de los jamones del tratamiento 1.

Respecto al color del corte, las componentes L*, a* y b* del color del músculo BF al corte fueron superiores a las del SM. El tipo de atmósfera no afectó significativamente a ningún parámetro. El factor canal sólo afectó al color del músculo SM.

Por lo que se refiere al color en el SM y BF tras 15 días de almacenamiento en refrigeración, la aplicación de una AM durante todo el procesado del jamón dio lugar a un aumento del componente L* y a una disminución de a* y b* en ambos músculos. Si bien sólo hubo un efecto significativo ($p < 0,05$) de la atmósfera en el caso del parámetro a* del músculo SM. La aplicación de la AM durante los últimos 75 días tuvo este mismo efecto significativo en el músculo SM.

Resultados

Tabla 4.2.12. Resultados de los análisis del color instrumental (L* a* b*) del producto terminado correspondientes a la prueba 3.1.2b: grasa subcutánea y músculos SM y BF al corte^{1, 2}

Parámetro	TRATAMIENTO				CANAL		e.s.r. ³
	Control	1	2	Sig	Sig		
Grasa							
L*	63,28 ^b	66,23 ^a	63,76 ^b	+	n.s.		1,03
a*	4,20	4,64	4,54	n.s.	n.s.		1,20
b*	37,45 ^b	34,19 ^a	38,48 ^b	*	n.s.		0,96
Músculo SM t = 0							
L*	32,13	32,63	32,96	n.s.	+		1,48
a*	14,94	13,68	14,72	n.s.	*		0,99
b*	6,02	6,34	6,05	n.s.	*		0,62
Músculo BF t = 0							
L*	41,12	39,38	40,51	n.s.	n.s.		2,55
a*	17,22	17,70	17,68	n.s.	n.s.		1,42
b*	7,96	8,05	8,07	n.s.	n.s.		0,96
Músculo SM t = 15 días							
L*	40,81	43,81	42,11	n.s.	*		2,66
a*	9,53 ^b	8,18 ^a	8,17 ^a	*	*		0,73
b*	1,56	0,36	-0,02	n.s.	n.s.		1,63
Músculo BF t = 15 días							
L*	52,13	55,11	49,96	n.s.	n.s.		6,68
a*	11,02	9,28	11,90	n.s.	n.s.		3,20
b*	2,15	1,56	2,13	n.s.	n.s.		3,87

¹ Los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes con $p < 0,05$, excepto aquellos en cursiva, en los que $p < 0,1$. $n = 6$ para cada tratamiento. ² Sig.: significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$; ³ Error estándar residual.

Los gráficos 4.2.8, 4.2.9 y 4.2.10. muestran, respectivamente, los cambios en los componentes L*, a* y b* durante los 120 minutos posteriores a la realización del corte. El único hecho destacable que se observó fue una leve disminución del valor de a*. Aunque las diferencias entre tratamientos no fueron significativas ($p > 0,1$) en ningún punto, es destacable que los jamones control obtuvieron valores de a* en el músculo BF inferiores a los del resto.

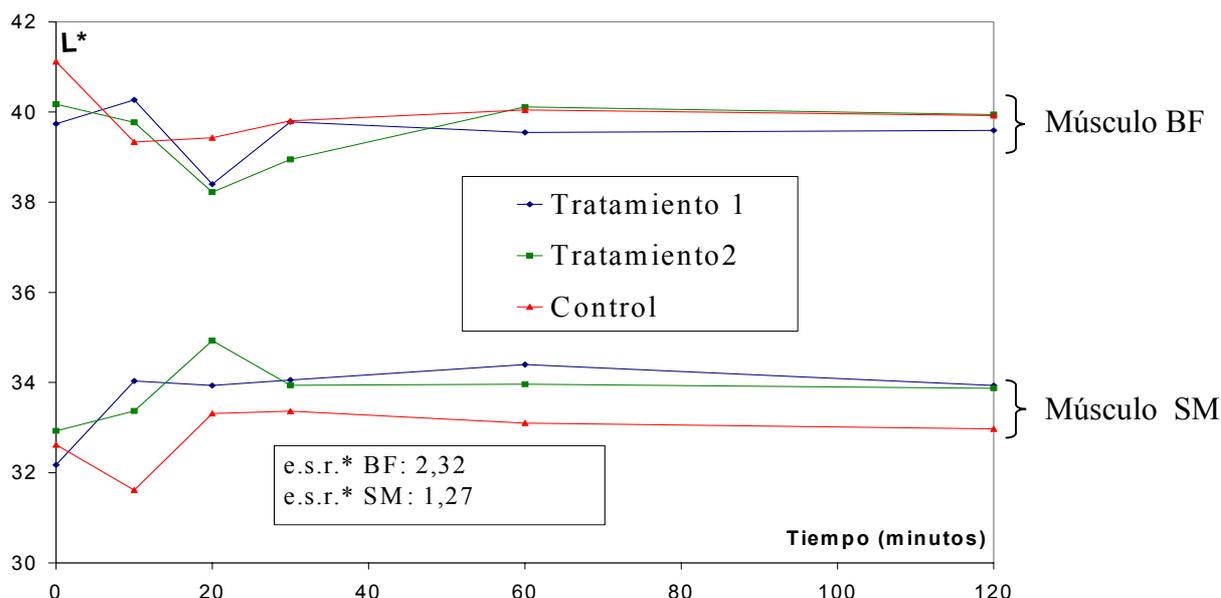


Gráfico 4.2.8. Evolución de L* tras el corte en los jamones de la prueba 3.1.2b.

*Error estandar residual promediado por todos los periodos estudiados

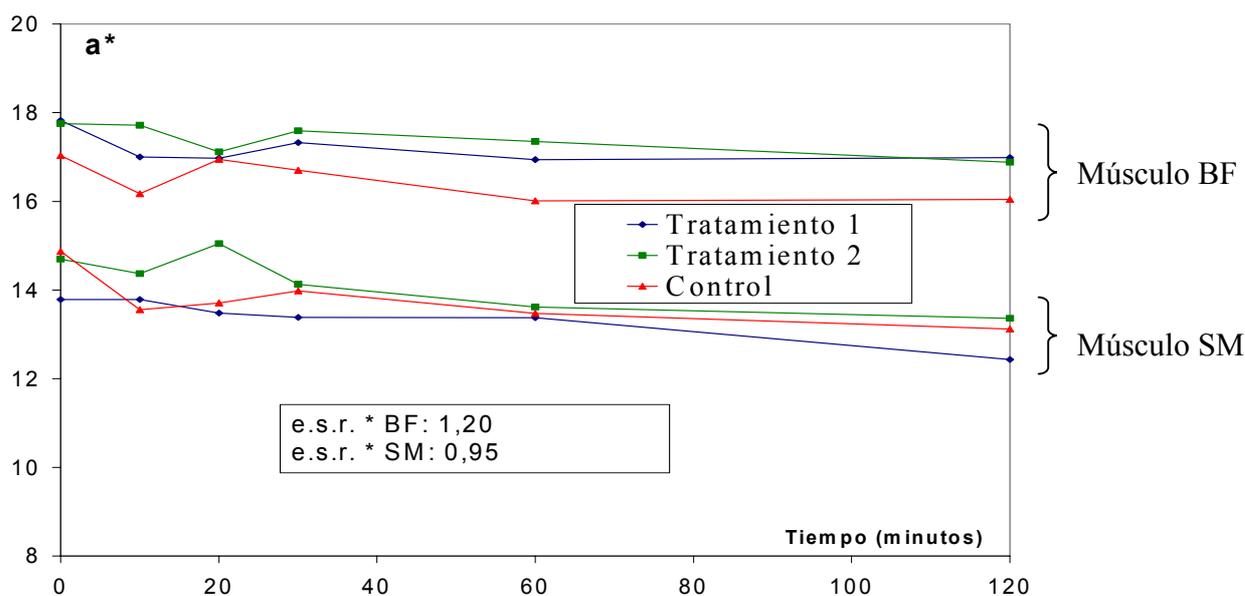


Gráfico 4.2.9. Evolución de a* tras el corte en los jamones de la prueba 3.1.2b.

*Error estandar residual promediado por todos los periodos estudiados

Resultados

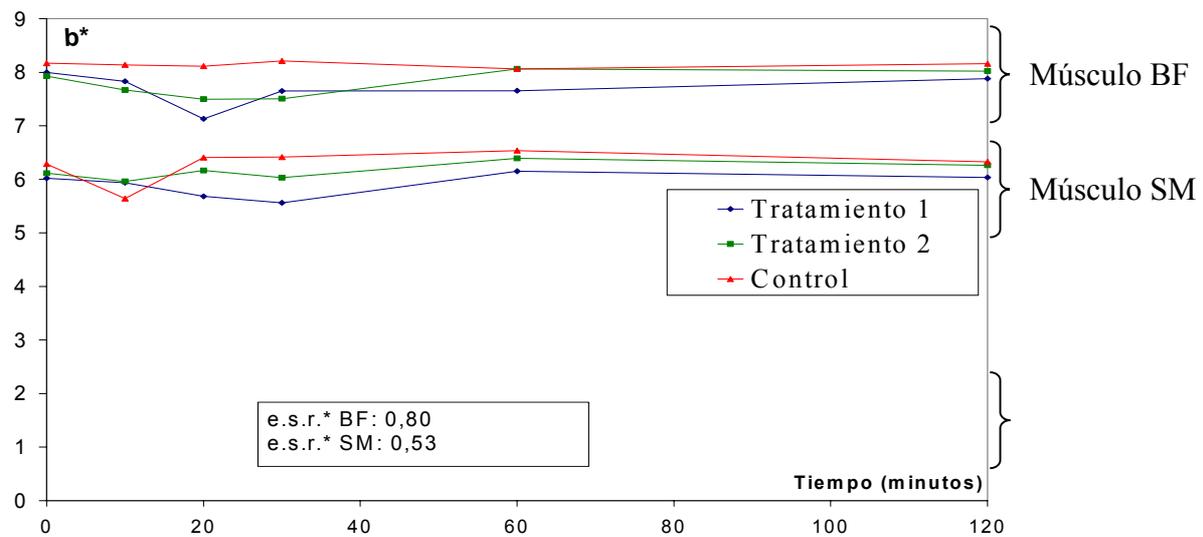


Gráfico 4.2.10. Evolución de b^* tras el corte en los jamones de la prueba 3.1.2b.

*Error estándar residual promediado por todos los periodos estudiados

4.2b.2. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

En la tabla 4.2.13 se muestran los resultados sobre los recuentos microbiológicos superficiales en la etapa de salado. El tipo de atmósfera no tuvo efecto significativo sobre los recuentos microbiológicos. Los recuentos de microorganismos halotolerantes coinciden con los de los cocos GC+. La presencia de levaduras fue muy baja ($< 10^2$ ufc/g) y no se detectó la presencia de bacterias ácido-lácticas (< 10 ufc/g).

Tabla 4.2.13. Resultados del ANOVA para los recuentos microbianos superficiales al final de la etapa de salado correspondientes a la prueba 3.1.2b (log u.f.c./g).^{1,2}

Parámetro	ATMÓSFERA			CANAL	e.s.r. ³
	Aire	N ₂	Sig.	Sig.	
Microorganismos halotolerantes	5,1	4,7	n.s.	n.s.	0,4
Cocos GC+	4,9	4,8	n.s.	n.s.	0,5
Bacterias ácido-lácticas	< 1,0	< 1,0	-	-	-
Levaduras	1,9	2,0	n.s.	n.s.	0,3

¹ Los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$). Sig.: significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$. ² $n = 4$ para cada tratamiento. ³ Error estándar residual

La tabla 4.2.14 corresponde a los resultados de los recuentos efectuados a los 100 y 210 días de procesado, que se corresponden con 45 y 155 días de la etapa de secado. Se comprueba que el tipo de atmósfera tuvo un destacable efecto sobre los recuentos microbianos durante el secado.

A los 100 días de procesado, los jamones con atmósfera de aire registraron recuentos entre 10^4 y 10^5 ufc/g, mientras que aquéllos en atmósfera de nitrógeno no pasaron de 10^2 ufc/g. Por otro lado, mientras que en los jamones en atmósfera de aire, los recuentos de microorganismos halotolerantes coincidieron con los de levaduras, en los jamones en AM ambos grupos coinciden en número con los cocos GC+.

Tabla 4.2.14. Resultados del ANOVA para los recuentos microbianos superficiales en la etapa de secado correspondientes a la prueba 3.1.2b (log u.f.c./g).^{1,2}

Grupo microbiano	100 días					210 días				
	Atmósfera			Canal	e.s.r. ³	Atmósfera			Canal	e.s.r. ³
	Aire	N ₂	Sig.	Sig.		Aire	N ₂	Sig.	Sig.	
Microorg. halotolerantes	5,7 ^a	1,7 ^b	***	n.s.	0,6	5,3 ^a	4,0 ^b	**	n.s.	0,3
Cocos GC+	4,2 ^a	2,0 ^b	**	n.s.	0,6	4,8 ^a	4,0 ^b	*	n.s.	0,2
Bacterias ácido-lácticas	<1,0	<1,0	-	n.s.	-	<1,0	<1,0	-	n.s.	-
Levaduras	5,2 ^a	2,1 ^b	***	n.s.	0,6	4,5 ^a	1,8 ^b	**	n.s.	0,3

¹ Para cada punto del proceso (100 o 210 días), los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$). Sig.: significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$. ² n = 4 para cada tratamiento. ³ Error estándar residual

En los jamones en atmósfera de aire no hubo grandes diferencias entre los recuentos a los 100 y los 210 días: los recuentos totales se mantuvieron, si bien se produjo una ligera disminución de los recuentos de levaduras y un ligero aumento de los cocos GC+, de manera que no se puede hablar de un claro grupo microbiano predominante. Por el contrario, en los jamones secados en atmósfera de nitrógeno las levaduras no crecieron y hubo un importante incremento en el número de cocos GC+, que pasaron a ser el grupo mayoritario y cuyos recuentos sólo estuvieron una unidad logarítmica por debajo de los obtenidos en los jamones en aire.

Los recuentos de bacterias ácido-lácticas continuaron por debajo de 10 ufc/g en todos los jamones.

Resultados

Respecto a los mohos, no se apreció visualmente un crecimiento superficial en ningún jamón, pero sí se percibió un leve crecimiento de hongos en el medio de cultivo Saboreaud correspondiente a las muestras de los jamones curados en aire, hecho que no sucedió con las muestras de los jamones curados en AM .

La tabla 4.2.15 recoge los recuentos en el músculo *Adductor* del producto terminado. Durante el salado y secado solamente hubo dos tratamientos diferentes, pero a partir del día 214 se creó un tercer tratamiento al pasar 6 jamones de la atmósfera de aire a la de N₂.

En el producto final también hubo efecto significativo ($p < 0,05$) del tratamiento. Los recuentos estuvieron alrededor de 10⁵ ufc/g para las bacterias y de 10⁴ ufc/g para levaduras en los jamones control y en los del tratamiento 2, mientras que los de los jamones en atmósfera de nitrógeno no llegaron a 10³ ufc/g. En todos los jamones los recuentos de bacterias halotolerantes aerobias coincidieron con los de cocos GC+. Por lo que se refiere a los mohos, se observó un número importante al efectuar los análisis microbiológicos en las muestras correspondientes a los tratamientos control y 2, lo cual no sucedió en las muestras correspondientes al tratamiento 1.

No hubo un efecto significativo de la canal sobre ninguno de los parámetros microbiológicos evaluados.

No se detectó *B. termosphaeta*, Enterobacterias ni clostridios sulfito-reductores en ningún jamón en ningún punto del proceso.

Tabla 4.2.15. Resultados del ANOVA para los recuentos microbianos al final del proceso (músculo *Adductor*) correspondientes a la prueba 3.1.2 a) (log u.f.c./g).^{1,2}

Parámetro	TRATAMIENTO				CANAL	e.s.r. ³
	Control	1	2	Sig.	Sig.	
Microorg. halotolerantes	5,3 ^a	2,5 ^b	5,5 ^a	*	n.s.	1,6
Cocos GC+	5,2 ^b	2,6 ^b	5,2 ^b	*	n.s.	1,6
Bacterias ácido-lácticas	<1,0	<1,0	<1,0	-	-	-
Levaduras	4,0 ^a	1,3 ^b	3,5 ^a	*	n.s.	0,8

¹ Los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$). Sig.: significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$. ² n = 4 para cada tratamiento. ³ Error estándar residual

4.2b.3. ÁCAROS

Únicamente se detectó presencia de ácaros vivos al final del proceso en los jamones control.

4.2b.4. ANÁLISIS SENSORIALES

4.2b.4.1. Análisis externo y al corte del producto final

En la tabla 4.2.16 se muestran los resultados del ANOVA y las puntuaciones correspondientes a los descriptores del análisis sensorial en el exterior de los jamones y al corte en el producto final.

El factor canal sólo fue significativo en el velo blanco del músculo SM ($p < 0,05$) y del BF ($p < 0,1$) y en la uniformidad de color ($p < 0,001$).

Tabla 4.2.16. Resultados del ANOVA para los análisis de aroma y visual externos y de aspecto al corte del producto final correspondientes a la prueba 3.1.2b^{1,2}

DESCRIPTOR	TRATAMIENTO				CANAL	e.s.r. ³
	Control	1	2	Sig.	Sig.	
Externo						
Intensidad del olor	3,5 ^a	0,4 ^b	1,4 ^b	*	n.s.	0,4
Color rojo del magro	1,3 ^a	3,5 ^b	1,3 ^a	*	n.s.	0,3
Al corte						
Brillo BF	2,3 ^a	3,7 ^b	3,0 ^{ab}	*	n.s.	0,7
Velo blanco BF	3,0 ^a	4,4 ^b	2,9 ^a	*	+	0,7
Velo blanco SM	1,5	1,2	1,8	n.s.	*	0,7
Uniformidad color.	5,9	5,9	5,7	n.s.	***	0,3
Halos ⁴	1	1	1	-	-	-
Coquera	2,8 ^a	0,3 ^b	1,4 ^{ab}	*	n.s.	0,6

¹ Los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes con $p < 0,05$, excepto aquellos en cursiva, en los que $p < 0,1$. Sig.: significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$. ² $n = 6$ para cada tratamiento. ³ Error estándar residual. ⁴ N° de jamones que presentaron un halo de nitrificación.

Resultados

El procesado de los jamones en AM durante la totalidad del proceso ocasionó una disminución significativa de la intensidad del aroma y de la apreciación visual del defecto de coquera (de 3,1 y 2,5 puntos, respectivamente), mientras que dio origen a puntuaciones significativamente mayores ($p < 0,05$) del color del magro, velo blanco y brillo en el músculo BF (diferencias de 2,2; 1,4 y 1,4 puntos respectivamente). Al aplicar esta atmósfera sólo durante la última etapa del proceso, también se produjeron cambios respecto al control, aunque en menor magnitud, en la intensidad de aroma global, brillo y coquera y sólo de manera significativa ($p < 0,05$) en la intensidad del olor.

4.2b.4.2. Análisis del flavor y textura del producto final

En las tablas 4.2.17 y 4.2.18 se recogen los resultados del ANOVA sobre los descriptores utilizados en las catas de los músculos SM y BF respectivamente.

No se detectaron notas del flavor como coquera, floral, afrutado, levadura y fruto seco.

El factor canal afectó de forma significativa a los descriptores carne cruda, animal, salado, picante, adhesividad, desmenuzabilidad ($p < 0,05$) y dureza ($p < 0,1$) en el músculo SM y a los descriptores salado, picante, dureza, fibrosidad ($p < 0,05$) y desmenuzabilidad ($p < 0,1$) en el músculo BF.

El tratamiento tuvo un efecto muy importante en el flavor de los jamones: el contenido reducido de oxígeno durante todo el procesado tuvo como consecuencia un aumento significativo ($p < 0,05$) de las puntuaciones de los descriptores metálico (diferencia significativa de 1,6 puntos en SM y 1,7 en BF), carne cruda (0,5 en SM), animal (0,6 y 0,4) y amargo (1,1 y 0,7) y una disminución de las de los descriptores dulce (1,0 y 0,6), añejo (2,9 y 2,4) y curado (1,8 y 1,7). Asimismo también ocasionó un aumento significativo en la pastosidad (1,6 y 1,1).

Como consecuencia de estos cambios la aceptabilidad del producto se vio reducida en 2 puntos.

La disminución de la concentración de oxígeno atmosférico efectuada sólo en la última parte del secado produjo cambios similares, aunque de menor magnitud, sólo en el flavor animal (diferencia significativa de 0,3 puntos en SM), flavor dulce (diferencia significativa respecto al

control de 1,0 puntos en SM y 0,3 en BF), añejo (2,3 y 1,7), y en el curado (1,7 y 0,7 puntos, sólo significativo en el SM). En estos 3 atributos las puntuaciones del tratamiento 2 estuvieron más cercanas al tratamiento 1 que al control, mientras que con el resto de descriptores las puntuaciones del tratamiento 2 estuvieron más cercanas al control.

La aceptabilidad de los jamones del tratamiento 2 también fue menor que la de los jamones control (diferencias significativas de 1,1 y 1,5 en SM y BF, respectivamente).

Tabla 4.2.17. Resultados del ANOVA para las catas del músculo SM correspondientes a la prueba 3.1.2b.^{1,2}

DESCRIPTOR	TRATAMIENTO				CANAL	e.s.r. ³
	Control	1	2	Sig.	Sig.	
Flavor						
Coquera	0,0	0,0	0,0	-	-	-
Metálico	0,3 ^a	1,9 ^b	0,6 ^a	**	n.s.	0,2
Carne cruda	0,2 ^b	0,7 ^b	0,4 ^a	**	*	0,2
Animal	0,4 ^a	1,0 ^b	0,7 ^b	*	***	0,2
Dulce	2,0 ^a	1,0 ^b	1,0 ^b	*	n.s.	0,1
Salado	2,9	2,9	3,0	n.s.	**	0,2
Picante	1,7 ^a	2,1 ^b	2,0 ^{ab}	+	**	0,3
Amargo	0,7 ^a	1,8 ^b	1,0 ^a	**	n.s.	0,5
Añejo	3,5 ^a	0,6 ^b	1,2 ^a	**	n.s.	0,4
Curado	2,7 ^a	0,9 ^b	1,0 ^c	***	n.s.	1,3
Textura						
Adhesividad	0,9	1,2	0,9	n.s.	**	0,2
Dureza	4,6	5,0	4,9	n.s.	+	0,5
Desmenuzabilidad	5,3	4,9	4,9	n.s.	*	0,4
Pastosidad	1,0 ^a	2,6 ^b	0,7 ^a	*	n.s.	1,2
Fibrosidad	2,2	2,0	2,2	n.s.	n.s.	0,7
Global						
Aceptabilidad	5,6 ^a	3,6 ^b	4,5 ^c	**	n.s.	0,6

¹ Los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes con $p < 0,05$, excepto aquellos en cursiva con $p < 0,1$. Sig.: significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$; -: ANOVA no efectuado. ² $n = 6$ para cada tratamiento. ³ Error estándar residual. ⁴ ANOVA no realizado.

Resultados

Tabla 4.2.18. Resultados del ANOVA para las catas del músculo BF correspondientes a la prueba 3.1.2b. ^{1,2}

DESCRIPTOR	TRATAMIENTO				CANAL	e.s.r. ³	
	C	1	2	Sig.	Sig.		
Flavor							
Metálico	1,2 ^a	2,9 ^b	1,7 ^a	* *	n.s.	0,8	
Carne cruda	0,5	0,7	0,4	n.s.	n.s.	0,2	
Animal	0,2 ^a	0,6 ^b	0,4 ^{ab}	*	n.s.	0,2	
Dulce	1,6 ^a	1,0 ^b	1,3 ^b	* *	n.s.	0,3	
Salado	4,1	4,2	4,4	n.s.	*	0,2	
Picante	2,7	2,6	2,9	n.s.	*	0,3	
Amargo	1,3 ^a	2,0 ^b	1,2 ^b	* *	n.s.	0,2	
Añejo	3,0 ^a	0,6 ^b	1,3 ^{ab}	* *	n.s.	0,7	
Curado	2,7 ^a	1,0 ^b	2,0 ^{ab}	* *	n.s.	0,5	
Textura							
Adhesividad	2,6	2,9	2,5	n.s.	n.s.	0,6	
Dureza	3,5	3,5	3,6	n.s.	*	0,3	
Desmenuzabilidad	5,4	5,1	5,0	n.s.	+	0,4	
Pastosidad	0,7 ^a	1,8 ^b	0,5 ^a	*	n.s.	0,6	
Fibrosidad	1,1	1,0	1,2	n.s.	*	0,2	
Global	Aceptabilidad	5,5 ^a	3,4 ^b	4,0 ^b	* *	n.s.	0,6

¹ Los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes con $p < 0,05$, excepto aquellos en cursiva con $p < 0,1$. Sig.: significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; * *: $p < 0,01$; * * *: $p < 0,001$. ² $n = 6$ para cada tratamiento. ³ Error estándar residual.

4.3 PRUEBA DE APLICACIÓN DE GRASA Y ESTUFAJE CORTO

4.3.1. MERMAS

Los gráficos 4.3.1 y 4.3.2 muestran la evolución del peso y de la merma acumulada (en % respecto al peso inicial) en los jamones de cada uno de los procesos estudiados.

Las pérdidas de peso mayores se apreciaron los primeros 100 días. La merma acumulada al final del salado, reposo y producto final fue de 5, 17 y 39 % respectivamente.

Como puede observarse, no apareció ningún efecto significativo de la aplicación de grasa ni del estufaje en el peso o en la merma acumulada en ningún punto del proceso.

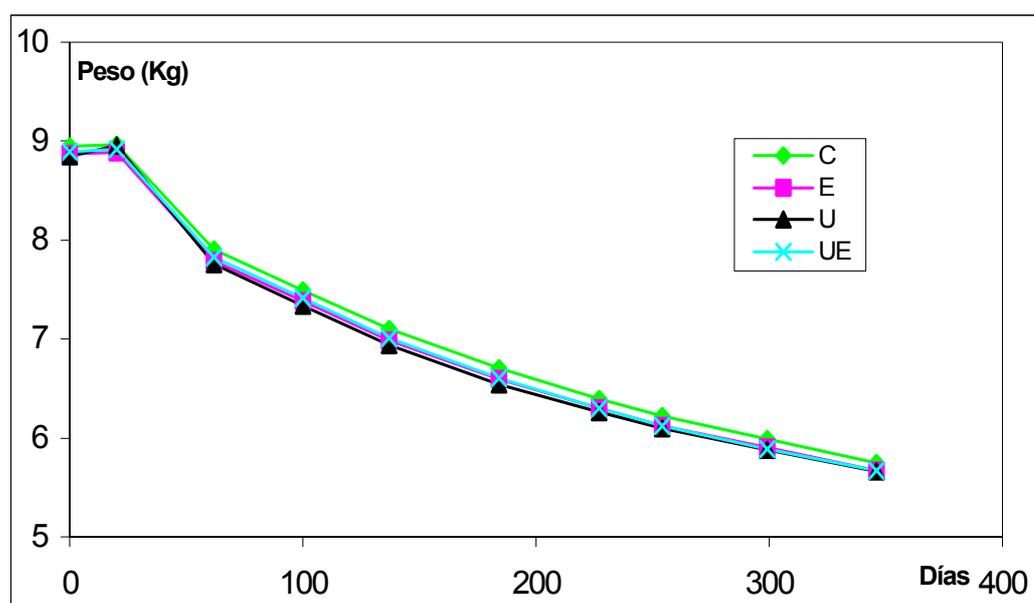


Gráfico 4.3.1. Evolución del peso durante el procesado de los jamones correspondientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje corto

Resultados

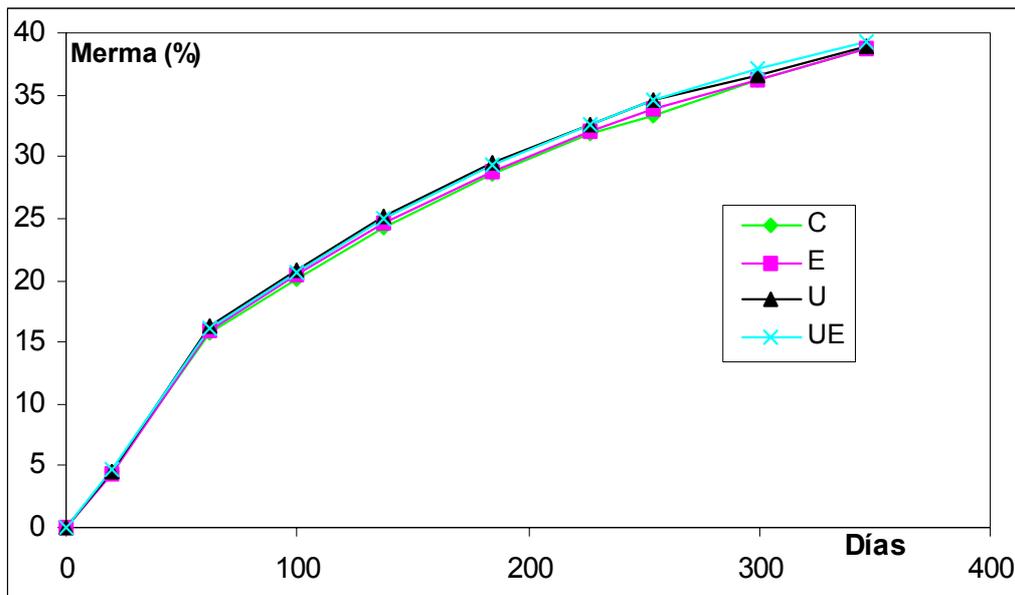


Gráfico 4.3.2. Evolución de la merma acumulada durante el procesado de los jamones correspondientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje corto

4.3.2 MEDIDAS DIMENSIONALES

En los gráficos 4.3.3, 4.3.4 y 4.3.5 se puede observar, respectivamente, la evolución del espesor, anchura y longitud de los jamones en cada uno de los 4 procesos estudiados. En el salado se produjo una ligera disminución de la longitud así como una importante reducción del espesor, coincidiendo con un aumento de la anchura. Durante el reposo, se registró un importante descenso en la anchura del jamón, mientras que la longitud y el espesor prácticamente no variaron. A lo largo del periodo de secado, los tres parámetros disminuyeron ligera y continuamente, siendo la longitud el parámetro que menos cambios experimentó.

La aplicación de grasa causó una disminución de 0,8 cm en el espesor a partir del segundo día posterior a la primera aplicación de grasa. A partir de este punto, el espesor de los jamones tratados con la grasa fue siempre inferior a la del resto de piezas. Aparte de este hecho, no hubo ningún efecto del estufaje o aplicación de grasa, ni sobre los valores de las dimensiones para cada punto del proceso, ni sobre el porcentaje de variación total respecto a los valores iniciales de los jamones. Al final del proceso, las variaciones medias de la anchura, espesor y longitud respecto a los valores iniciales fueron del 12, 25 y 3 % respectivamente.

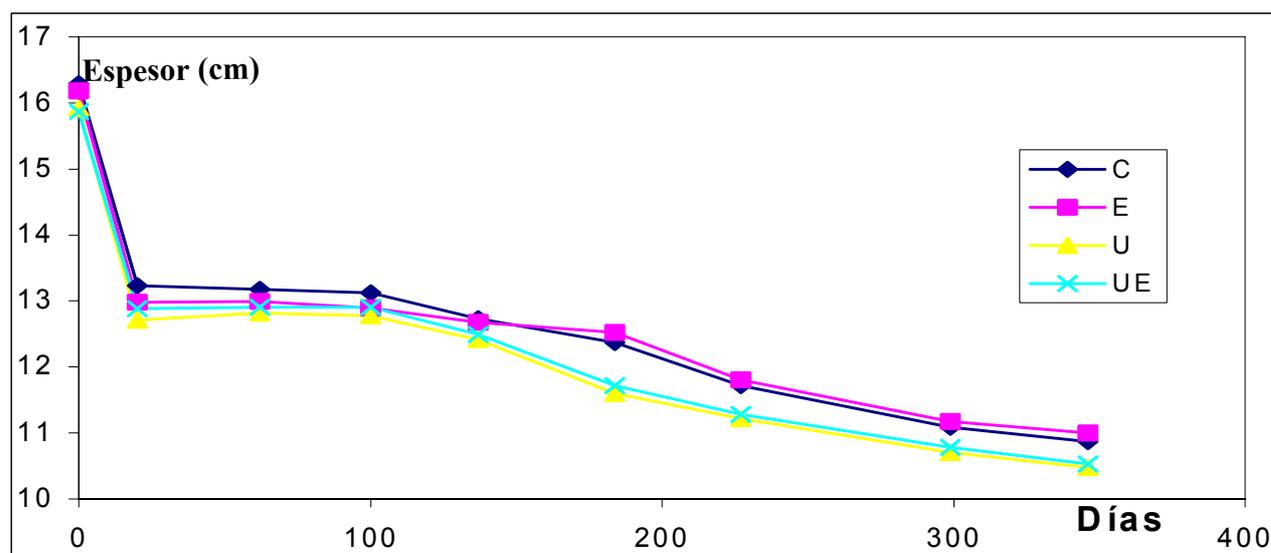


Gráfico 4.3.3. Evolución del espesor durante el procesado de los jamones correspondientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje corto.

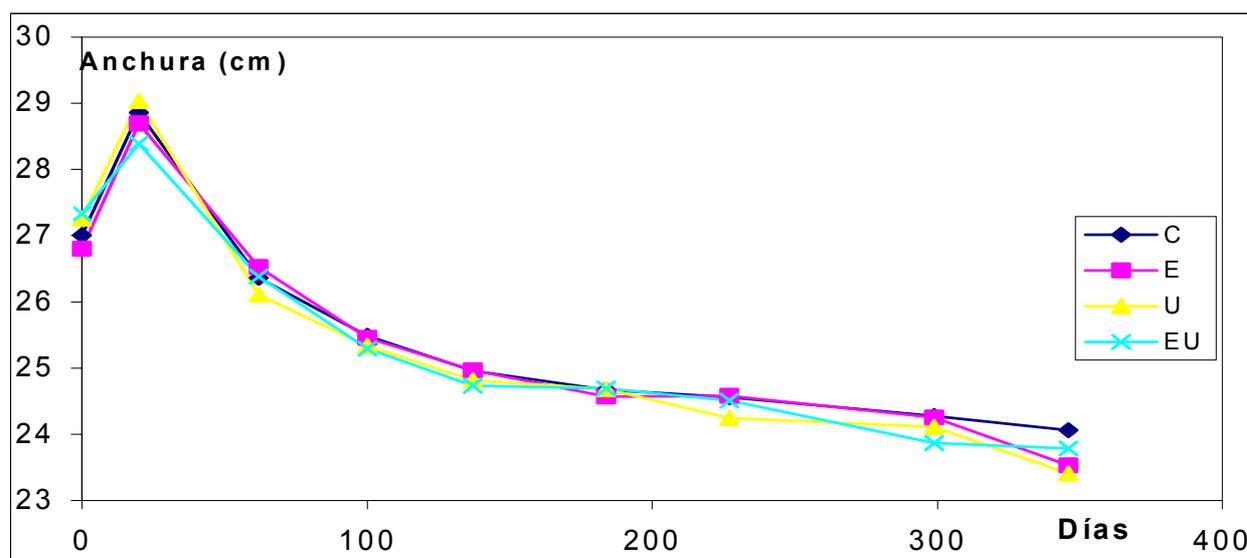


Gráfico 4.3.4. Evolución de la anchura durante el procesado de los jamones correspondientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje corto.

Resultados

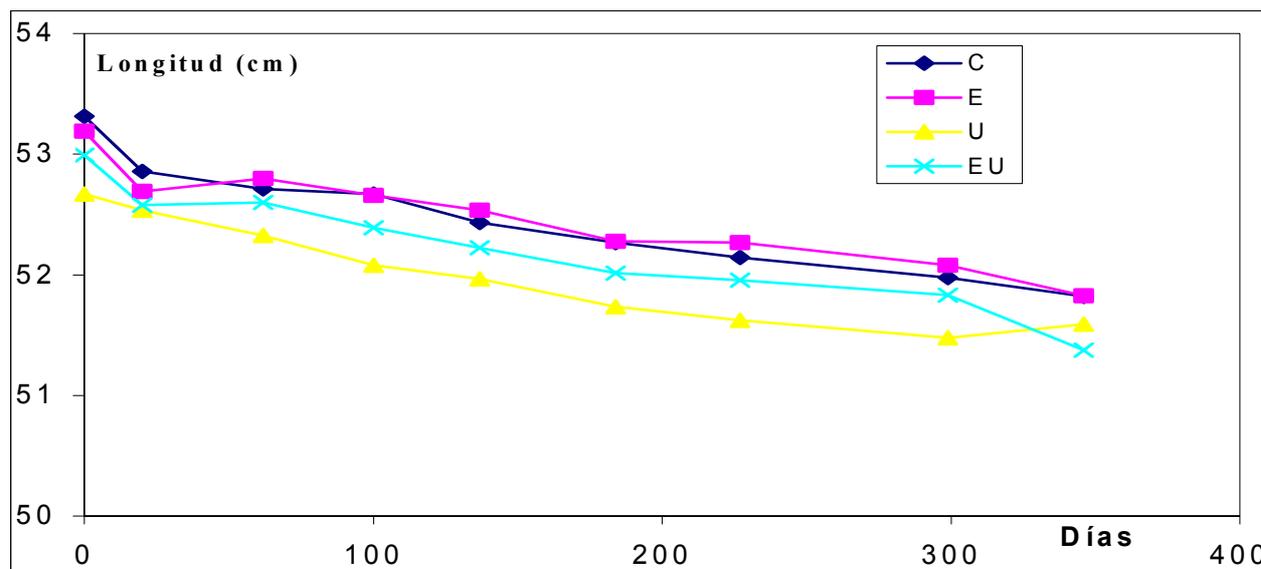


Gráfico 4.3.5. Evolución de la longitud de los jamones correspondientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje corto.

4.3.3. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Las tablas 4.3.1 y 4.3.2 muestran los resultados correspondientes a los parámetros físico-químicos del músculo SM y BF respectivamente y en la tabla 4.3.3 se muestran, según el tipo de proceso seguido, los parámetros del músculo BF en los que se produjo un efecto significativo de la interacción. Respecto al perfil de pH, se observa que no hubo diferencias importantes de pH entre los puntos de muestreo.

El estufaje no tuvo efecto significativo en ningún parámetro analizado. La aplicación de grasa ocasionó un aumento en la pérdida de agua del SM, de manera que el contenido acuoso resultó significativamente menor en un 1,9 g/100 g. Además, el untado también causó en este músculo una disminución significativa ($p < 0,05$) del IP en 1,8% y un aumento ($p < 0,1$) de 0,8 g. de NaCl por 100 gr. de agua en el SM. Asimismo, el untado originó una reducción de casi una décima en el valor del pH de la parte superficial del jamón.

El factor interacción fue significativo para la humedad, proteína y la concentración de cloruros del BF. Tal y como muestra la tabla 4.3.3., se debe al hecho de que el estufaje sólo tuvo efecto significativo sobre estos parámetros en el músculo BF de los jamones untados, en los que originó una disminución del contenido acuoso en 1,64 g/100 g y un aumento del contenido proteico, cloruros y NaCl/H₂O en 1,08; 0,32 y 1,06 g/100g respectivamente.

Tabla 4.3.1. Resultados de los análisis físico-químicos en el músculo SM y del perfil de pH en los jamones pertenecientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje corto.¹

Parámetro ²	Estufaje			Untado			Canal	Est. *Unt.	e.s.r. ³
	SI	NO	Sig.	SI	NO	Sig.	Sig.	Sig.	
Humedad (%)	40,58	40,88	n.s.	39,77	41,68	*	***	n.s.	1,38
Proteína (%)	44,95	45,05	n.s.	45,74	44,26	n.s.	*	n.s.	1,55
Proteína (% b.s.)	75,71	76,34	n.s.	76,07	75,98	n.s.	*	n.s.	1,19
NaCl (%)	5,91	6,08	n.s.	5,99	6,00	n.s.	n.s.	n.s.	0,23
NaCl/H ₂ O (%)	14,81	15,16	n.s.	15,38	14,59	+	***	n.s.	0,63
Índice de proteólisis	20,47	20,36	n.s.	19,50	21,33	*	*	n.s.	1,46
pH (músculo RF):									
superficial	5,70	5,71	n.s.	5,67	5,75	*	n.s.	n.s.	0,05
medio	5,74	5,74	n.s.	5,70	5,77	**	**	n.s.	0,02
profundo	5,71	5,72	n.s.	5,70	5,73	n.s.	n.s.	n.s.	0,06

¹ Los valores en negrita indican que, para ese parámetro, la diferencia entre los dos niveles del factor es significativa (con $p < 0,05$, excepto los valores en cursiva, en los que $p < 0,1$). sig = significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$. n = 10 para cada nivel de los factores estufaje y untado.² Todos los parámetros están expresados en base húmeda, excepto los indicados con b.s.(base seca).³ e.s.r.: error estándar residual.

Tabla 4.3.2: Resultados de los análisis físico-químicos en el músculo BF de los jamones pertenecientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje corto.¹

Parámetro ²	Estufaje			Untado			Canal	Est. *Unt.	e.s.r. ³
	SI	NO	Sig.	SI	NO	Sig.	Sig.	Sig.	
Humedad (%)	53,63	54,47	n.s.	53,98	54,12	n.s.	***	+	0,82
Proteína (%)	31,87	31,39	n.s.	31,47	31,78	n.s.	***	*	0,73
Proteína (% b.s.)	68,72	68,96	n.s.	68,40	69,28	n.s.	*	n.s.	1,35
NaCl (%)	7,72	7,69	n.s.	7,80	7,61	n.s.	***	***	0,10
NaCl/H ₂ O (%)	14,55	14,28	n.s.	14,63	14,20	n.s.	***	**	0,33
Índice de proteólisis	27,56	28,18	n.s.	27,74	27,99	n.s.	**	n.s.	0,89

¹ Los valores en negrita indican que, para ese parámetro, la diferencia entre los dos niveles del factor es significativa (con $p < 0,05$, excepto los valores en cursiva, en los que $p < 0,1$). sig = significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$. n = 10 para cada nivel de los factores estufaje y untado.² Todos los parámetros están expresados en base húmeda, excepto los cocientes y los indicados con: b.s.: base seca.³ e.s.r.: error estándar residual.

Resultados

Tabla 4.3.3: Resultados de algunos parámetros físico-químicos del músculo BF de los jamones pertenecientes a la prueba 3.1.3. en los que la interacción fue significativa.¹

Parámetro ³	PROCESO ²			
	U	C	EU	E
Humedad (%)	54,94 ^a	54,00 ^{ab}	53,30 ^b	53,96 ^{ab}
Proteína (%)	31,24 ^a	31,53 ^a	32,32 ^b	31,42 ^a
NaCl (%)	7,45 ^a	7,92 ^b	7,77 ^{bc}	7,67 ^c
NaCl/H ₂ O (%)	13,67 ^a	14,89 ^b	14,73 ^{bc}	14,37 ^c

¹ Los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$). ² $n = 5$ para cada proceso.

³ Todos los parámetros están expresados en base húmeda, excepto los cocientes y los indicados con: b.s.: base seca.

De manera similar a lo observado en las pruebas 3.1.1., 3.1.2a y 3.1.2b, el factor canal afectó de una manera importante a la composición de los jamones, teniendo un efecto significativo en todos los parámetros en el músculo BF y en la mayoría de ellos en el SM.

4.3.4 ANÁLISIS DEL COLOR.

4.3.4.1 Color de la grasa durante el procesado

En los gráficos 4.3.6, 4.3.7 y 4.3.8 se representan, respectivamente, la evolución de los componentes L*, a* y b* en la parte exterior de la grasa subcutánea del jamón. Se ha representado la media de todos los jamones, ya que no hubo ningún efecto significativo de la aplicación de grasa ni del estufaje en ningún punto del proceso.

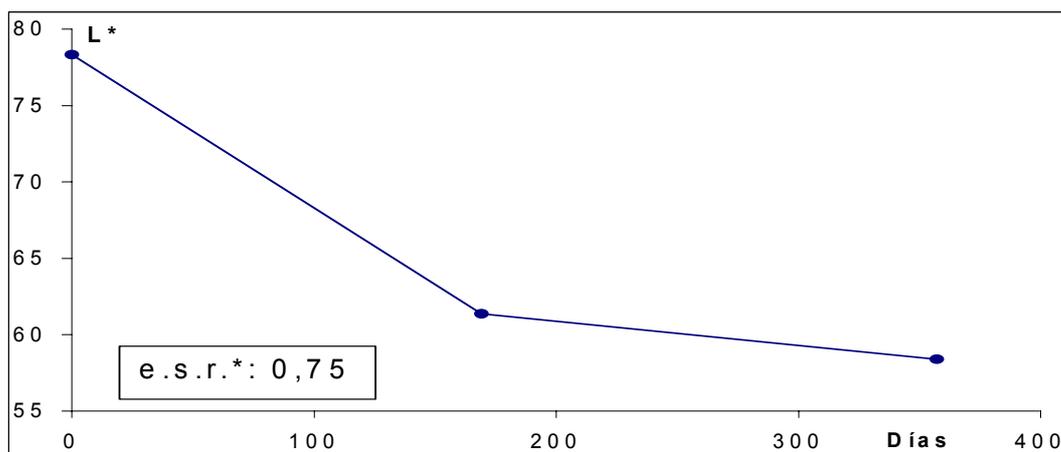


Gráfico 4.3.6. Evolución de la componente L* en la grasa subcutánea de los jamones correspondientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje corto

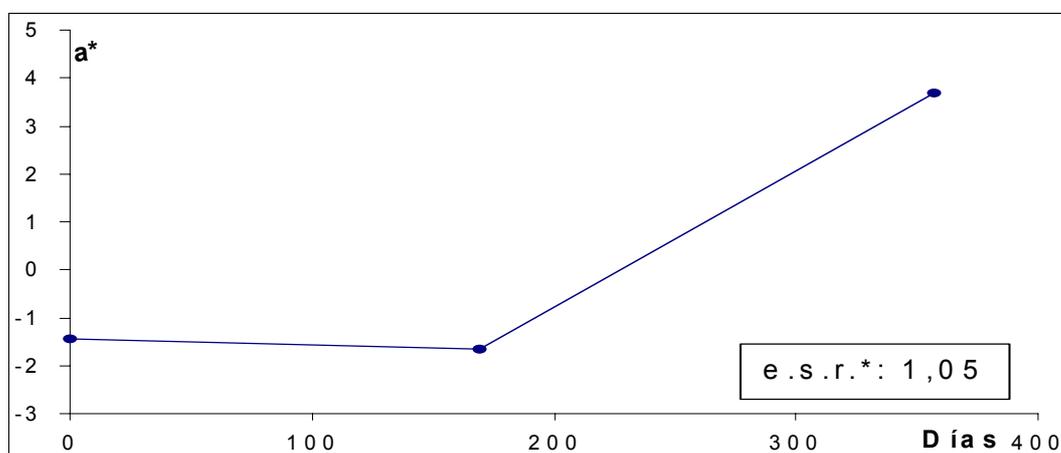


Gráfico 4.3.7. Evolución de la componente a* en la grasa subcutánea de los jamones correspondientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje corto

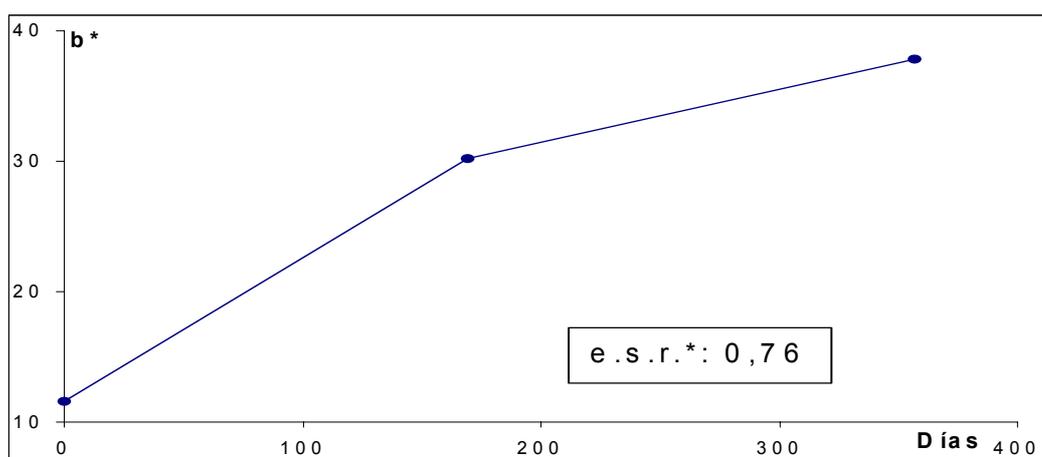


Gráfico 4.3.8 Evolución de la componente b* en la grasa subcutánea de los jamones correspondientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje corto

Resultados

Cada componente varía de manera diferente. Así, el valor de L^* experimenta un importante descenso durante la primera mitad del proceso y se mantiene prácticamente invariable durante el resto del tiempo. La componente b^* aumenta de manera importante en este primer periodo, coincidiendo con la disminución de L^* y después lo hace más lentamente.

La componente a^* se mantuvo constante durante la primera mitad y posteriormente aumentó de manera pronunciada.

4.3.4.2 Estabilidad del color al corte.

En el gráfico 4.3.9 se representan los cambios en los valores de L^* de los cortes de músculos SM y BF a lo largo del tiempo de exposición. Para cada músculo hay 2 curvas, las cuales representan los dos niveles (presencia y ausencia) del factor untado.

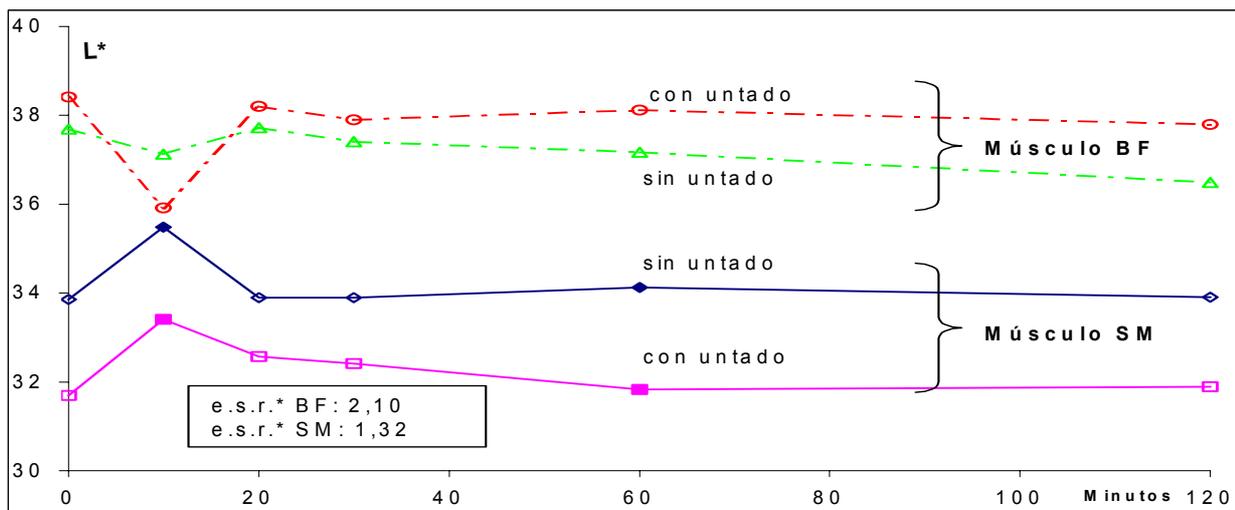


Gráfico 4.3.9. Efecto del untado sobre la evolución del parámetro L^* tras el corte en los jamones correspondientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje corto.¹

¹ Para un músculo y periodo de tiempo, los puntos sombreados indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Los valores de la luminosidad fueron siempre más bajos en el músculo SM que en el BF. En la lectura realizada a los 10 minutos de exposición, se observó como hubo un aumento de los valores en el músculo SM y una disminución en el BF. Posteriormente en ambos músculos se siguió una tendencia similar.

El untado provocó valores más bajos de L^* desde el inicio en el SM, aunque la diferencia sólo fue significativa a los 10 y 60 minutos de exposición, llegando a ser de 2,3 unidades en este último punto. En el BF, este factor no tuvo efectos significativos en L^* .

El gráfico 4.3.10 muestra el efecto del estufaje sobre L^* . El estufaje originó un aumento importante de los valores de L^* en el músculo BF. Esta diferencia sólo fue significativa ($p < 0,05$) a los 60 minutos de exposición, donde dio lugar a un aumento de su valor en 1,72 unidades.

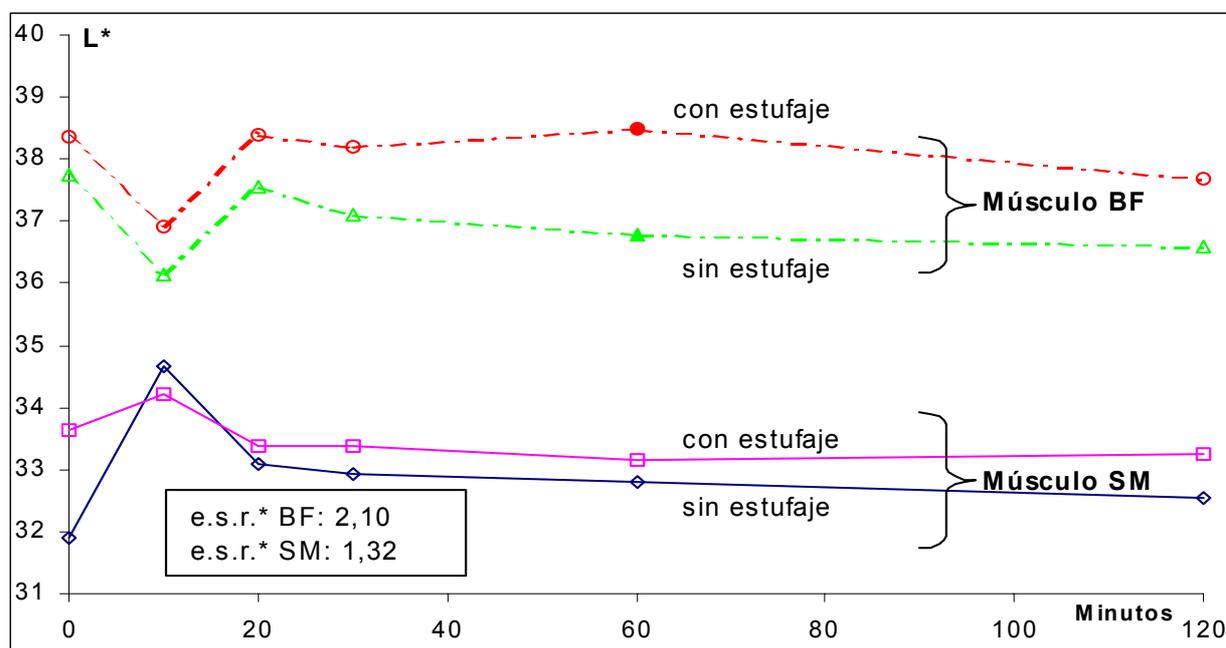


Gráfico 4.3.10. Efecto del estufaje sobre la evolución del parámetro L^* tras el corte en los jamones correspondientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje corto.¹

¹ Para un mismo músculo y periodo de tiempo, los puntos sombreados indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En los gráficos 4.3.11 y 4.3.12 se muestran, respectivamente los efectos del untado y el estufaje sobre la evolución de a^* . Como sucedió con L^* , los valores en el BF fueron mayores que en el SM. Se aprecia que este parámetro siguió una evolución similar a la componente L^* , es decir, en los primeros 20 minutos de exposición presentó la mayor variación y seguidamente experimentó una disminución muy ligera, sin que hubiera un efecto significativo de ningún factor.

Los resultados correspondientes al parámetro b^* pueden verse en las gráficas 4.3.13 y 4.3.14. El parámetro b^* presentó una mayor inestabilidad durante los primeros minutos, no

Resultados

apreciándose una tendencia clara hasta después de pasados 30 minutos. A partir de los 60 minutos, su valor disminuyó ligeramente en el músculo SM, pero los cambios son poco importantes. El untado tiene un efecto significativo ($p < 0,05$) en el músculo SM en la lectura inicial, a los 60 y a los 120 minutos, dando lugar a valores de la componente b^* 2 unidades más bajos.

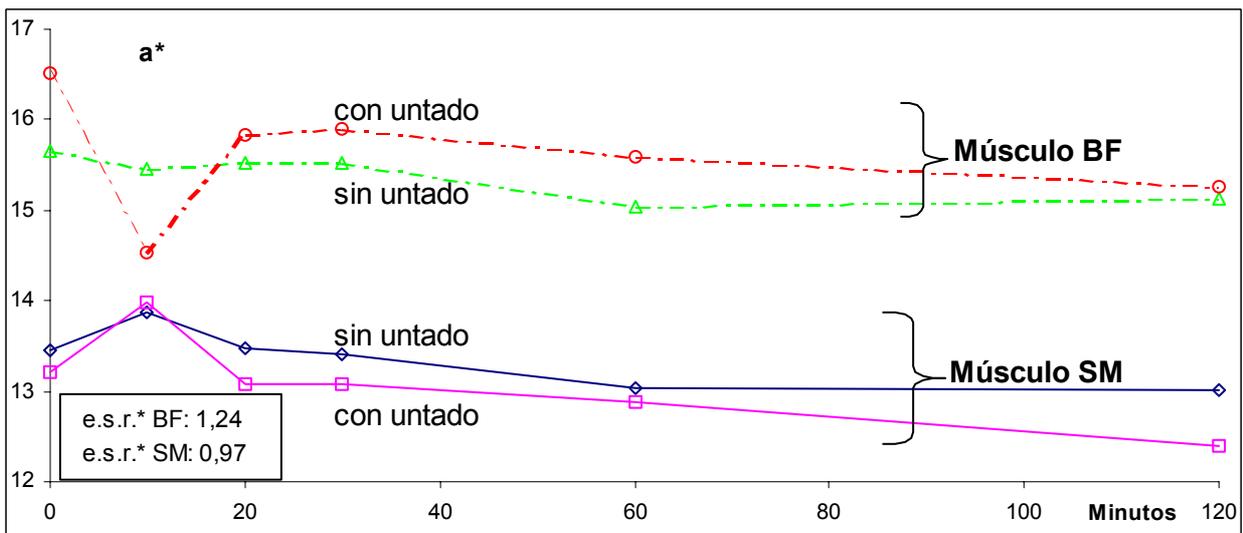


Gráfico 4.3.11. Efecto del untado sobre la evolución del parámetro a^* tras el corte en los jamones correspondientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje corto.

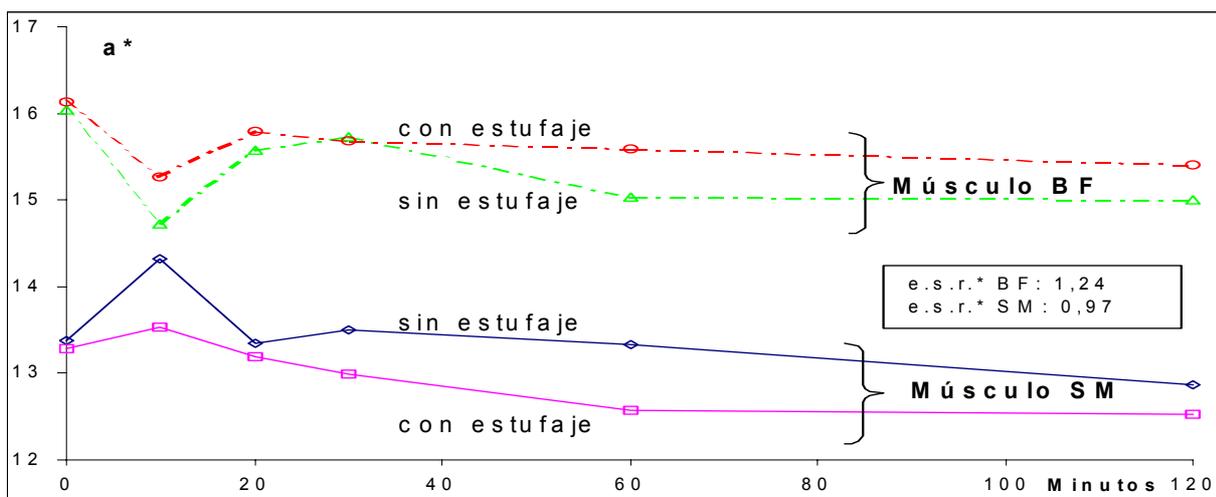


Gráfico 4.3.12. Efecto del estufaje sobre la evolución del parámetro a^* tras el corte en los jamones correspondientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje corto.

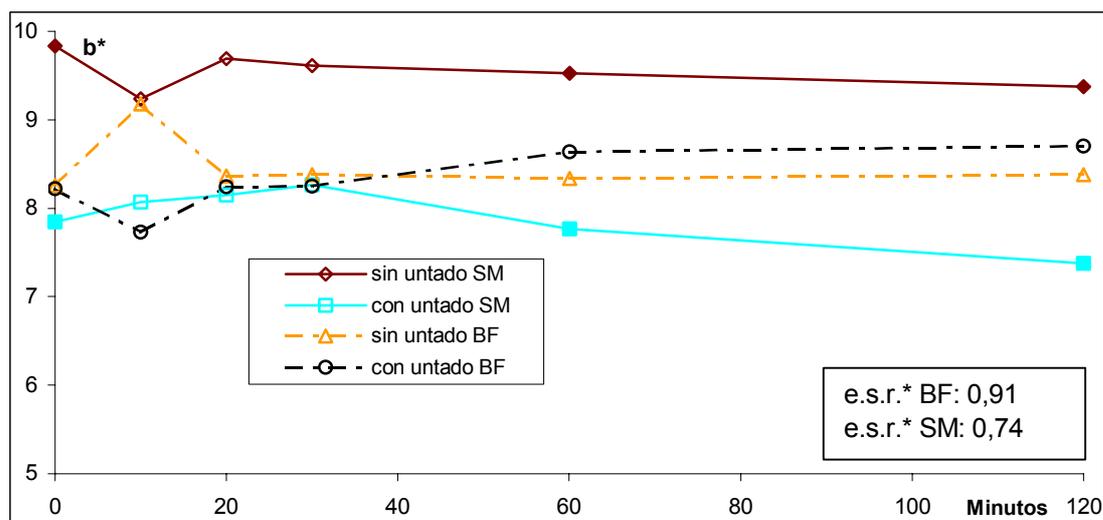


Gráfico 4.3.13. Efecto del untado sobre la evolución del parámetro b^* tras el corte en los jamones correspondientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje.¹

¹ Para un músculo y periodo de tiempo, los puntos sombreados indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

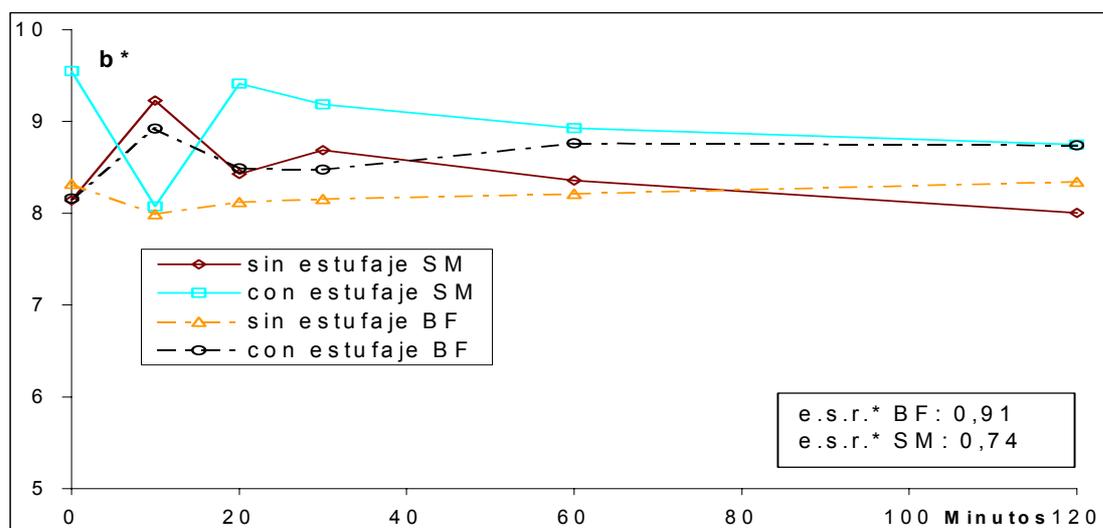


Gráfico 4.3.14. Efecto del estufaje sobre la evolución del parámetro b^* tras el corte en los jamones correspondientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje.

Resultados

4.3.5 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS.

La tabla 4.3.4 muestra los resultados de ANOVA sobre los recuentos microbiológicos de las muestras extraídas de la zona del músculo *Adductor*, alrededor del hueso coxal.

Los recuentos de la flora halotolerante coinciden con los de los cocos GC+ y no se detectó la presencia de bacterias ácido-lácticas en la zona.

Tabla 4.3.4. Resultados de los análisis microbiológicos correspondientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje corto.^{1,2}

Parámetro	Estufaje			Untado			Canal	Est. *Unt.	e.s.r. ³
	SI	NO	Sig.	SI	NO	Sig.	Sig.	Sig.	
Microorganismos halotolerantes	8,0	8,1	n.s.	7,3	8,8	*	n.s.	n.s.	0,6
Cocos GC+	7,7	7,9	n.s.	6,9	8,7	*	n.s.	n.s.	0,5
Levaduras	2,2	2,0	n.s.	3,7	2,5	n.s.	n.s.	n.s.	0,8

¹ Los valores en negrita indican que, para ese parámetro, la diferencia entre los dos niveles del factor es significativa (con $p < 0,05$, excepto los valores en cursiva, en los que $p < 0,1$). ² Sig = significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$. n = 6 para cada nivel de los factores estufaje y untado. ³ error estándar residual.

El untado fue el único factor que tuvo efecto significativo sobre los recuentos bacterianos, produciendo una disminución de éstos de 1,5 unidades logarítmicas.

En la superficie de los jamones untados se desarrolló una capa fina de hongos blancos tras el primer untado.

4.3.6 EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PRODUCTO FINAL.

4.3.6.1. Aspecto al corte.

La tabla 4.3.5 muestra los resultados correspondientes al análisis del aspecto al corte y la tabla 4.3.6 los atributos sobre los cuales la interacción tuvo un efecto significativo.

Tabla 4.3.5. Resultados de los análisis del aspecto al corte correspondientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje corto.¹

Parámetro	Estufaje			Untado			Canal	Est. *Unt.	e.s.r. ²
	SI	NO	Sig.	SI	NO	Sig.	Sig.	Sig.	
Velo blanco BF	3,8	3,7	n.s.	3,5	4,0	+	* * *	n.s.	0,6
Velo blanco SM	0,7	0,7	n.s.	<i>0,4</i>	<i>1,0</i>	+	*	n.s.	0,7
Uniformidad de color	6,1	6,1	n.s.	6,4	5,7	* *	n.s.	n.s.	0,7
Halos de nitrificación ³	4	4	-	3	5	-	-	-	-
Brillo BF	3,1	3,1	n.s.	2,8	3,4	* *	* *	*	0,5
Coquera	4,9	4,5	n.s.	1,4	8,0	***	n.s.	n.s.	1,6

¹ Los valores en negrita indican que, para ese parámetro, la diferencia entre los dos niveles del factor es significativa (con $p < 0,05$, excepto los valores en cursiva, en los que $p < 0,1$). sig = significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; * : $p < 0,05$; * * : $p < 0,01$; * * * : $p < 0,001$. n = 9 para cada combinación estufaje*untado.² error estándar residual. ³ N° de jamones que presentaron un halo de nitrificación.

Tabla 4.3.6. Efecto de la interacción estufaje*untado sobre el brillo del músculo BF en los jamones pertenecientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje corto.¹

Parámetro	PROCESO ^{1,2}			
	U	C	EU	E
Brillo BF	3,0 ^{ab}	3,1 ^a	2,6 ^b	3,6 ^c

¹ Los valores con superíndices distintos en una misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$). ² n = 9 para cada proceso

La aplicación de grasa causó un aumento significativo ($p < 0,01$) de 0,7 unidades en las puntuaciones de uniformidad del color de la loncha y una reducción ($p < 0,1$) de la intensidad del velo blanco en los músculos SM y BF en 0,5 y 0,6 puntos respectivamente. También provocó una drástica reducción significativa ($p < 0,001$) de la percepción visual del defecto de la coquera, dejándola en valores poco apreciables (de una puntuación de 8 a 1,4).

Resultados

La interacción sólo fue significativa en el brillo del BF. Dicho efecto es debido a que el untado causó una disminución en 1 punto en la intensidad de este descriptor en jamones sometidos a estufaje, mientras que no tuvo un efecto sobre el resto.

Aparte de este ligero efecto, el estufaje no afectó significativamente a ninguno de los atributos estudiados, mientras que el factor canal lo hizo sobre más de la mitad de ellos.

4.3.6.2 Flavor y textura.

Las tablas 4.3.7 y 4.3.8 muestran los resultados de las catas en los músculos SM y BF.

La aplicación de grasa tuvo un efecto principal en el SM, donde causó un aumento significativo ($p < 0,05$) de las puntuaciones en los descriptores añejo, dureza, fibrosidad y en la aceptabilidad global (en 1,3; 0,7; 1,0; y 1,2 puntos respectivamente). Asimismo también causó un aumento ($p < 0,1$) de la intensidad de la nota curado en 0,5 puntos y una disminución significativa ($p < 0,05$) del flavor a pienso, adhesividad, desmenuzabilidad, pastosidad, y del flavor asociado al efecto coquera (en 0,8; 0,8; 0,9; 1,0 y 1,2 puntos respectivamente). En el BF, el untado tuvo el mismo efecto que en el SM, aunque en menor medida, en la intensidad del flavor a pienso y del flavor asociado al defecto de coquera.

Asimismo, la aplicación de grasa produjo una drástica reducción en la aparición de la incidencia del flavor tostado en el SM. Así, este atributo aparece en casi la mitad de los jamones no untados, mientras que solamente se detecta en uno de los jamones untados. Por otra parte, el flavor a fruto seco aparece, tanto en el SM como en el BF, únicamente en los jamones a los que se les aplicó grasa.

Ni el estufaje ni la interacción untado*estufaje afectaron significativamente al flavor ni a la textura del producto final.

El factor canal fue significativo en una parte importante de los descriptores en ambos músculos.

Tabla 4.3.7. Resultados de las catas de los jamones correspondientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje corto: Músculo SM.^{1,2}

Parámetro		Estufaje			Untado			Canal	Est.	e.s.r. ³
		SI	NO	Sig.	SI	NO	Sig.	Sig.	*Unt. Sig.	
Flavor	Coquera	0,7	0,9	n.s.	0,2	1,4	*	n.s.	n.s.	0,3
	Metálico	0,4	0,5	n.s.	0,5	0,3	n.s.	**	n.s.	0,2
	Animal	0,9	0,7	n.s.	0,8	0,8	n.s.	**	n.s.	0,3
	Dulce	0,7	0,8	n.s.	1,0	0,5	n.s.	+	n.s.	0,3
	Salado	3,4	3,3	n.s.	3,4	3,3	n.s.	***	n.s.	0,8
	Ácido	4	2	n.s.	5	1	n.s.	-	-	-
	Picante	1,6	1,7	n.s.	1,7	1,7	n.s.	*	n.s.	0,3
	Amargo	0,7	0,7	n.s.	0,8	0,6	n.s.	n.s.	n.s.	0,3
	Añejo	0,9	1,4	n.s.	1,8	0,5	*	n.s.	n.s.	0,5
	Floral	0	1	n.s.	1	0	n.s.	-	-	-
	Pienso	0,5	0,5	n.s.	0,1	0,9	**	n.s.	n.s.	0,5
	Agrio	1	1	n.s.	1	1	n.s.	-	-	-
	Fruto seco	2	3	n.s.	5	0	*	-	-	-
	Curado	1,0	1,2	n.s.	1,4	0,9	+	n.s.	n.s.	0,5
	Tostado	5	4	n.s.	1	8	*	-	-	-
Umami	1	1,4	n.s.	1,3	1,1	n.s.	*	n.s.	0,6	
Textura	Adhesividad	2,2	2,5	n.s.	1,9	2,7	*	**	n.s.	0,7
	Dureza	4,3	4,1	n.s.	4,5	3,8	*	+	n.s.	0,7
	Desmenuzabilidad	3,6	3,5	n.s.	3,1	4,0	***	*	n.s.	0,5
	Pastosidad	1,2	1,2	n.s.	0,7	1,7	*	n.s.	n.s.	1,0
	Fibrosidad	2,9	2,6	n.s.	3,3	2,3	*	n.s.	n.s.	1,1
Global	Aceptabilidad	5,0	5,2	n.s.	5,7	4,5	*	n.s.	n.s.	0,9

¹ Los valores en negrita indican que, para ese parámetro, la diferencia entre los dos niveles del factor es significativa (con $p < 0,05$, excepto los valores en cursiva, en los que $p < 0,1$). $n = 18$ para cada nivel de los factores estufaje y untado. Sig: significancia: n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$; -: ANOVA no efectuado.² Los números enteros indican el nº de jamones que presentan el descriptor correspondiente.³ Error estándar residual.

Resultados

Tabla 4.3.8. Resultados de las catas de los jamones correspondientes a la prueba con aplicación de grasa y estufaje corto: Músculo BF.^{1,2}

Parámetro		Estufaje			Untado			Canal	Est. *Unt.	e.s.r. ³
		SI	NO	Sig.	SI	NO	Sig.	Sig.	Sig.	
Flavor	Coquera	0,5	0,4	-	0,0	0,9	-	-	-	-
	Metálico	0,3	0,5	n.s.	0,4	0,4	n.s.	n.s.	n.s.	0,7
	Carne cruda	1	0	n.s.	0	1	n.s.	-	-	-
	Animal	8	5	n.s.	5	8	n.s.	-	-	-
	Dulce	0,6	0,9	n.s.	0,9	0,7	n.s.	n.s.	n.s.	0,1
	Salado	4,5	4,3	n.s.	4,3	4,5	n.s.	**	n.s.	0,7
	Ácido	4	1	n.s.	4	1	n.s.	-	-	-
	Picante	4,1	3,8	n.s.	3,9	4,1	n.s.	***	n.s.	0,5
	Amargo	0,7	0,6	n.s.	0,7	0,6	n.s.	**	n.s.	0,2
	Añejo	1,0	1,4	n.s.	1,5	1,0	n.s.	n.s.	n.s.	0,8
	Floral	1	1	n.s.	2	0	n.s.	-	-	-
	Pienso	0,7	0,9	n.s.	0,5	1,1	+	n.s.	n.s.	0,9
	Agrio	3	0	n.s.	1	2	n.s.	-	-	-
	Fruto seco	2	3	n.s.	5	0	*	-	-	-
	Curado	1,1	1,4	n.s.	1,3	1,1	n.s.	+	n.s.	0,8
	Tostado	3	2	n.s.	4	1	n.s.	-	-	-
	Umami	1,1	1,4	n.s.	1,1	1,4	n.s.	n.s.	n.s.	0,1
Textura	Adhesividad	2,8	2,5	n.s.	2,4	2,8	n.s.	**	n.s.	0,9
	Dureza	4,0	4,4	n.s.	4,3	4,1	n.s.	***	n.s.	0,6
	Desmenuzabilidad	3,6	3,1	n.s.	3,1	3,6	+	***	n.s.	0,7
	Pastosidad	1,4	1,3	n.s.	1,2	1,5	n.s.	**	n.s.	0,9
	Fibrosidad	2,3	2,9	n.s.	2,9	2,3	+	***	n.s.	0,8
Global	Aceptabilidad	4,7	5	n.s.	5,1	4,6	n.s.	**	n.s.	0,9

¹ Los valores en negrita indican que, para ese parámetro, la diferencia entre los dos niveles del factor es significativa (con $p < 0,05$, excepto los valores en cursiva, en los que $p < 0,1$). $n = 9$ para cada combinación estufaje*untado. Sig: significancia; n.s.: no significativo ($p > 0,1$); +: $p < 0,1$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$; -: ANOVA no efectuado.² Los números enteros indican el n° de jamones que presentan el descriptor correspondiente.³ Error estándar residual.

5.1. PRUEBA CON CULTIVO INICIADOR Y DOS TIPOS DE REPOSO **(prueba 3.1.1.)**

5.1.1. MERMAS

Es destacable el hecho de que las mermas que tuvieron los jamones con un reposo normal en el periodo de 250 días tras el salado fueran ligeramente superiores a las que experimentaron los jamones con un reposo en vacío en un periodo de igual duración pero tomado tras el reposo. Estos resultados indican que los jamones V y SV tenían unas condiciones intrínsecas peores para la pérdida de agua, probablemente porque la superficie era menos adecuada para la transferencia de humedad. Esto podría haber sido debido al mayor desarrollo de la flora superficial en estos jamones durante los primeros días de secado (mencionado en punto 4.1.4) que actuara como una barrera para el secado, especialmente en los SV, los cuales presentaron una superficie más dura al tacto. Por otro lado, la pérdida rápida de agua durante la primera etapa del secado, pudo favorecer el fenómeno del acortezamiento, esto es, originar una zona superficial más seca, lo cual podría disminuir la difusividad del agua (Ruiz-Cabrera y col., 1998). Además, el fenómeno del sudado y el efecto protector que éste conlleva sobre el acortezamiento se produjo en mayor intensidad en la última etapa del secado (ver apartado 4.1.5). También hay que tener en cuenta que el gradiente de NaCl entre el interior y el exterior del jamón que presentaban los jamones C y S tras el salado era mayor que el que tenían los jamones V y SV tras el reposo, y se ha comprobado que cuanto mayor es este gradiente, mayor es la difusividad efectiva del agua (Gou y col., 2003).

A pesar de sus aparentes peores características intrínsecas para el secado, la merma de los jamones con un reposo en vacío fue siempre mayor cuando se compara en un mismo periodo de secado (gráfico 4.1.2). Esto parece indicar que el factor que más influyó sobre la pérdida de agua fue el contenido acuoso del jamón. Este motivo justificaría que la merma diaria de todos los jamones disminuyera a lo largo del tiempo. Sólo hubo un periodo en que esto no ocurrió: entre el día 210 y el 280. En este periodo los cambios que favorecieron un aumento de la merma fueron por un lado el aumento del gradiente de humedad, al disminuir la humedad relativa ambiental (de 70-80 a 60-70 % entre los 210 y 240 días y de 60-70 a 50-60 % entre los 240 y los 280 días) y por otro lado la temperatura aumentó (de 20-22 °C a 23-25 °C), lo cual favoreció el aumento de

Discusión

la transferencia externa y la difusividad interna. Estos cambios fueron más importantes que la disminución de la difusividad efectiva fruto de la pérdida de humedad que se produjo en esta fase.

5.1.2. MEDIDAS DIMENSIONALES

En general, el espesor, la longitud y anchura de los jamones disminuyó durante el procesado por la pérdida de agua, siendo la longitud la que menos varió debido a la rigidez proporcionada por los huesos, la piel y la grasa subcutánea y al efecto de la gravedad.

Al inicio del periodo de secado la anchura de los jamones de los tratamientos V y SV fue mayor y su espesor menor que el resto. Así pues, el efecto que sobre la reducción del espesor y de la anchura tuvo la pérdida de agua ocurrida en el reposo en los jamones C y S fue menos importante que el efecto de la gravedad en los jamones V y SV por el hecho de estar en posición horizontal. Por este mismo efecto de la gravedad, el espesor de estos últimos aumentó en la primera etapa de secado, tras haber sido colgados. En el caso de la anchura, el efecto del cambio de posición unido a la pérdida de peso produjeron una disminución importante de este parámetro en la primera etapa de secado.

5.1.3. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Durante el secado las mermas dependen más de la difusividad del agua que de la transferencia externa (Gou, 1998). Por este motivo, a pesar de que el reposo en vacío originó una diferencia en las mermas acumuladas al final del procesado, la diferencia en el contenido acuoso sólo fue evidente en el músculo BF, y no en el SM. De modo análogo, Arnau y col. (2003a) hallaron que al final del reposo había diferencias entre los valores de la humedad en el músculo SM de jamones que durante el reposo habían estado sometidos a diferentes humedades relativas (52, 78 y 85 %), pero éstas desaparecieron al final del procesado. Así pues, el envasado al vacío en el reposo origina una mayor diferencia en el contenido acuoso entre el BF y SM, lo cual repercute negativamente en la calidad del producto. A este respecto, el pliego de condiciones de la Especialidad Tradicional Garantizada (ETG) del jamón serrano fija un máximo para el valor máximo del gradiente de humedades entre la zona superficial y la zona central del jamón de un 12 % (Comunidad Europea, 1999).

El hecho de que la concentración de sal en ambos músculos fuera menor en los jamones V y SV puede ser debido a la suma de varios factores: salida de NaCl del jamón hacia el líquido exudado durante el reposo, distribución a otros músculos de la zona del codillo durante el reposo y a que la cesión de sal a zonas no musculares hubiera sido mayor o que la cantidad recibida de zonas no musculares hubiese sido menor. Boades y col. (2001) observaron que, tras el salado, había zonas no musculares, como los huesos fémur y tibia-peroné que tomaban sal, y otras, como la piel, la grasa subcutánea, el hueso coxal y el codillo que cedían sal en mayor medida, de manera que a los 18, 50 y 180 días el músculo tenía respectivamente el 80, 86 y 91 % de toda la sal presente en el jamón.

Aunque el tipo de reposo no afectó al contenido acuoso del músculo SM en el producto final, sí que originó una diferencia en el mismo durante cierta parte del proceso. Las diferencias que hubo durante el proceso en el contenido acuoso y en la concentración de sal entre los jamones con un reposo en vacío y aquellos con un reposo normal probablemente fueron las responsables de las diferencias en el índice de proteólisis y en la actividad de agua de ambos músculos. El índice de proteólisis fue superior en los jamones con un reposo en vacío porque la proteólisis es mayor cuanto mayor es el contenido acuoso (Schivazappa y col., 1992; Arnau y col., 2003a) y menor es la concentración de sal (Parolari y col., 1988; Parolari, 1996, Arnau y col., 1997). Respecto a la actividad de agua, el incremento de su valor ocasionado por el reposo en vacío fue mayor en el músculo SM que en el BF a pesar de que la diferencia de humedades originada por el reposo al vacío durante esta etapa fue menor en el SM que en el BF. Esto pudo deberse a que la diferencia en la concentración de sal originada por el reposo al vacío también fue mayor en el SM que en el BF.

La inoculación del cultivo iniciador no produjo un aumento del IP en el músculo SM, a pesar de que algunos de los microorganismos añadidos tienen cierta actividad proteolítica. Hay que tener en cuenta que el tipo de matriz cárnica es importante para la acción de los microorganismos del cultivo iniciador. Así la actividad proteolítica de *S. xylosum*, y *D. hansenii* extraídos de jamón sobre medios de miosina o filetes de carne estéril es bastante mayor que sobre carne desecada (Molina y Toldrá, 1992; Rodríguez y col., 1998), siendo los hongos inoculados los que se ha observado que originan una mayor proteólisis en el jamón (Martín y col., 2000). Así pues el cultivo iniciador comercial utilizado, al estar seleccionado para utilizarse en embutidos, puede tener sobre éstos un efecto diferente al que tiene al aplicarse a un jamón.

Discusión

También pudo suceder que las cepas de microorganismos añadidas en el cultivo iniciador tuvieran una actividad proteolítica menor que las presentes inicialmente en el jamón. A este respecto, Núñez y col. (1998) y Rodríguez y col.(1998) observaron que *S. xylosus* presentaba una importante actividad proteolítica que difería bastante entre cepas. Además, los jamones inoculados carecieron de la actividad proteolítica de los mohos, y se han encontrado en jamones determinadas cepas de hongos que han mostrado con una actividad proteolítica importante al ser inoculados sobre lomo y jamón curado (Martín y col., 2000) y sobre modelos cárnicos con 10 % sal/agua (Céspedes, 2001).

También hay que tener en cuenta que el IP se analizó tomando el músculo entero y no sólo la parte superficial, que es donde se desarrollan principalmente los microorganismos en el jamón. Hortós (1995), al analizar músculos enteros, obtuvo un mayor índice de proteólisis en el músculo BF que en el SM, a pesar que en el músculo BF el número de microorganismos es inferior (Hernández y Huerta, 1993). Así pues, el efecto de los microorganismos sobre este parámetro en el jamón fue menos importante que el de los enzimas proteolíticos cuando se analizó todo el músculo. En nuestro caso, el efecto de los microorganismos sobre las proteínas podría haberse apreciado mejor si se hubiera analizado únicamente la parte externa del jamón. Arnau y col. (2003a) analizaron la parte más superficial del músculo SM y obtuvieron valores de nitrógeno no proteico superiores al final de la etapa de reposo en aquellos jamones sometidos a una humedad relativa de 85 ± 3 % que en aquellos a los que se había aplicado humedades relativas de 78 ± 3 % ó 52 ± 3 %. Estos autores lo atribuyeron a un mayor crecimiento microbiano, que se evidenció por el aspecto limoso superficial que ofrecían, tras el reposo, los jamones secados a 85 ± 3 % de humedad relativa.

Asímismo, el uso de azúcares también podría haber ocasionado una disminución de la hidrólisis de proteínas y péptidos por parte de los microorganismos, al utilizar los hidratos de carbono como fuente de energía en lugar de las proteínas o aminoácidos. Por otro lado, hay que tener en cuenta que las bacterias usadas en los cultivos normalmente tienen más eficacia en la producción de aminoácidos que de péptidos (Verplaetse, 1994), por lo que, aunque el uso del cultivo pudiera originar una mayor producción de aminoácidos y péptidos pequeños, este aumento podría tener una influencia pequeña sobre el valor del NNP.

En general, los valores de pH, incluso los de los jamones control, fueron menores que los observados por otros autores en jamón de cerdo blanco (Astiasaráin y col., 1988; Carrascosa y col., 1988; Carrascosa y col., 1989; Arnau y col., 1995) quizás debido al uso de azúcares y a la tecnología de procesado utilizada. Así Boades y col. (2000) observaron que en los jamones en los que se adicionó dextrosa no se observó la formación de cristales de fosfato en la superficie del jamón, lo cual fue atribuido a una posible reducción del pH superficial. Estos valores inferiores de pH pudieron ser debidos principalmente a la fermentación de azúcares por las bacterias ácido-lácticas. Hernández y Huerta (1993) obtuvieron valores de pH similares en un jamón que alcanzó recuentos de bacterias ácido-lácticas de 10^5 u.f.c./g. Por otro lado, *S. xylosum* y *S. carnosus* también pueden producir ácidos en condiciones aeróbicas y anaeróbicas a partir de glucosa (Kloos y Schleifer, 1986; Kocur, 1986)

La inoculación dio origen a un ligero aumento del pH en el exterior del músculo SM, lo cual podría ser debido al mayor desarrollo de cocos GC+ y de levaduras que tuvieron estos jamones en la superficie a lo largo del proceso. En la bibliografía, los mayores recuentos de levaduras se registran en superficie, donde la diferencia del número de levaduras comparado con el resto de grupos microbiológicos es menor porque encuentran mejores condiciones para crecer y competir con ellos (Hugas y col., 1987; Carrascosa y col., 1988; Carrascosa, y col., 1989; Silla y col., 1989; Hernández y Huerta, 1993). Se ha comprobado que las levaduras originan un aumento del pH, debido a que por un lado producen amoníaco y por otro reducen la concentración de ácidos láctico y acético. (Coretti, 1977; Gehlen y col., 1991; Mikami y col., 1998). En concreto, algunas cepas de *D. hansenii* tienen una importante capacidad para producir amoníaco (Durá y col., 2002). Este efecto de las levaduras probablemente fue mayor que el que tuvieron los mohos (los cuales también utilizan el ácido láctico y provocan un aumento del pH (Grazia y col., 1986)) en los jamones no inoculados, ya que las levaduras se desarrollaron sobre una zona más amplia y durante más tiempo que los mohos. Por otro lado el mayor número de cocos GC+ presentes en los jamones inoculados también podría haber contribuido al aumento del pH en su superficie, ya que se habría originado una cantidad mayor de NBV por acción directa de estas bacterias sobre los aminoácidos, como ocurre en los embutidos (Montel y col., 1998). A este respecto, se ha comprobado que cepas de *S. carnosus* utilizada en cultivos iniciadores son capaces de formar cantidades significantes de aminos biogénicos (Masson y col., 1996). Asimismo, Sosa y col. (2003) hallaron una importante actividad desaminasa en cocos GC+ aislados de jamón. Así pues, si el aumento de pH provocado por los microorganismos es debido

Discusión

a una mayor degradación de aminoácidos, no tiene porque ir necesariamente unido a mayores valores de nitrógeno no proteico.

Al contrario de lo observado en el exterior, en la zona más profunda del músculo SM, la inoculación dio lugar a una ligera disminución del pH. Una de las causas pudo ser el crecimiento de las bacterias ácido-lácticas que podrían haber fermentado los azúcares en las primeras etapas del secado. Boades y col. (2000) observaron una acidificación importante al inocular el mismo starter usado en el presente estudio en la superficie de jamones que habían sido previamente tenderizados. Esta tenderización facilitó el acceso de las bacterias ácido-lácticas inoculadas a zonas interiores. A pesar de que, en nuestro caso, el cultivo iniciador se aplicó en superficie y sin tenderizar, algunas bacterias pudieron haber penetrado a esta zona durante el reposo por alguno de los mecanismos postulados por Cornejo y col. (1992). El aumento de temperatura que se produjo al iniciarse la etapa de secado, habría dado lugar a un crecimiento importante de estas bacterias, especialmente en los jamones SV, los cuales partían con un número mayor y además presentaban mejores condiciones para su crecimiento (mayor a_w). Probablemente el microorganismo responsable de la caída del pH haya sido *P. pentosaceus*. Talon y col. (1992a) observaron que una cepa de *P. pentosaceus* tenía mayor capacidad de producir ácido a partir de glucosa que *L. sake*. Además, este microorganismo ha sido identificado como mayoritario dentro del grupo de bacterias ácido-lácticas presentes en jamón curado (García Ruiz , 2001; Molina y col., 1989b). Si bien la diferencia de pH entre jamones inoculados y no inoculados es pequeña en el producto final, pudo ser algo mayor en la mitad del proceso. Bartholomew y Blumer, (1977a) inocularon *Pediococcus cerevisiae* suspendido en una solución de azúcares, lo cual provocó un descenso del pH acusado en las primeras fases del secado, pero posteriormente se observó un aumento paulatino de su valor, de manera que las diferencias respecto al control no inoculado se fueron reduciendo por una cierta capacidad tamponadora del músculo.

Los jamones que habían permanecido en vacío durante el reposo registraron valores superiores de pH, debido probablemente a su mayor índice de proteólisis, mayor crecimiento microbiano y a la mayor migración de fosfatos al exterior. Por estos mismos motivos, Arnau y col. (2003a) observaron, en jamones que habían sido sometidos a una humedad de $85\pm 3\%$ durante el reposo, un valor superior del pH que en otros que lo estuvieron a una humedad del $78\pm 3\%$.

5.1.4. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

5.1.4.1 Muestras de magro

Cocos GC+

Los cocos GC+, fueron el grupo mayoritario durante todo el proceso, tal y como han encontrado otros autores que han analizado microbiológicamente el jamón curado español (Francisco y col., 1981; Jóciles y col., 1983; Hugas y col., 1987; Molina y col., 1989a; Silla y col., 1989; Carrascosa y col., 1988, 1989, 1991; Cornejo y col., 1992). El menor número de levaduras, en comparación con el de cocos GC+, se ha justificado por la menor velocidad de crecimiento de las mismas, al competir desfavorablemente con el grupo mayoritario (Carrascosa, y col., 1989). Otros motivos que podrían explicar este hecho son la zona del jamón muestreada y el número inicial de microorganismos ya presentes inmediatamente antes del salado. Cuando se muestrea la zona superficial, pequeñas variaciones de profundidad pueden ser importantes, ya que, por un lado, la disponibilidad de oxígeno es menor según aumenta la profundidad (Lawrie, 1991) y por otro el perfil de humedades varía mucho en la zona superficial (Gou, 1998). Estos tres factores, disponibilidad de oxígeno, contenido de sal y a_w , influyen de manera importante en el crecimiento de levaduras, cocos GC+ y bacterias ácido-lácticas (Blickstad, 1984). Este autor observó que en aerobiosis y a 4 °C, las levaduras eran mayoritarias en un sistema cárnico con una actividad de agua de 0,94 y 6 % de cloruro sódico, mientras que en anaerobiosis, los recuentos de *Staphylococcus* spp eran superiores. Cuando se habla de muestreo en superficie, unas veces se excluye las capas más superficiales y otras no. Si no se excluyen dichas capas el número de microorganismos durante el secado es superior (Rodríguez y col., 1994) y el incremento del número de levaduras tras el salado es similar o superior al de los cocos GC+, al menos en algunas fases del proceso (Hugas y col., 1987; Carrascosa y col., 1989).

Otro factor que puede influir en que los cocos GC+ superen en número a las levaduras es que su número normalmente ya es superior en la superficie del jamón desde un inicio, lo cual puede ser debido a la contaminación de la maquinaria o herramientas y sobre todo de la sal (Carrascosa, y col., 1989). Estos autores hallaron que el número de cocos GC+ era 100 veces superior al de levaduras en la sal utilizada para la salazón.

Discusión

Durante el salado no se detectó un crecimiento microbiano, lo cual está en concordancia con Hugas y col. (1987), quienes, utilizando el mismo tipo de muestreo, tampoco observaron ninguna variación en los recuentos totales, si bien los valores de los recuentos hallados por estos autores fueron del orden de 10^5 ufc/cm², muy superiores a los aquí hallados, porque partían de recuentos iniciales más altos.

No hay evidencias de que los microorganismos inoculados crecieran durante el reposo, ya que de haberlo hecho los recuentos de Cocos GC+ de los jamones inoculados habrían sido superiores a los de bacterias ácido-lácticas, ya que las características de la materia prima, la salazón y la evolución de la temperatura y la humedad relativa ambiental durante el proceso crean unas condiciones en el jamón que favorecen el desarrollo mayoritario de los Cocos GC+, (Carrascosa y col., 1988).

Varios autores (Hugas y col., 1987; Carrascosa, y col., 1989; Marín y col., 1992; Cornejo y col., 1990) han registrado un aumento de la población microbiana durante el reposo. El hecho de que no ocurriera así en esta prueba, puede ser debido a los bajos recuentos iniciales y a las bajas temperaturas a las que se mantuvieron los jamones durante esta etapa (entre 2 y 3°C). En relación con este hecho, Kemp y col. (1988) registraron un descenso del número de *Staphylococcus* spp en lonchas envasadas al vacío y almacenadas durante 8 semanas a 0 °C. Otro factor que también pudo contribuir a la ausencia de crecimiento en esta etapa de los microorganismos inoculados podría ser que, al inocularlos tras la etapa de salado, en ellos no ha habido la selección natural de aquellos microorganismos tolerantes a la sal y a la baja temperatura, selección que normalmente ocurre en dicha etapa con los microorganismos presentes en el jamón (Hugas y col., 1987).

La diferencia de casi una unidad logarítmica de los recuentos de cocos GC+ entre los jamones de los procesos SV y S, podría ser debida a que el envasado al vacío da lugar a un mayor valor de la a_w , lo cual causaría un descenso menor del número de microorganismos. El envasado no afectaría a los jamones no inoculados, debido al bajo número de microorganismos presentes. Por estos motivos el factor interacción fue significativo para este grupo microbiano.

En la primera etapa de secado, los recuentos de cocos GC+ experimentaron un crecimiento importante. La diferencia entre los recuentos obtenidos en esta etapa y los hallados

al final de reposo fue mayor en los jamones no inoculados (gráfica 4.1.6). Esto puede deberse a dos motivos: por un lado a que los jamones S y SV habían alcanzado los recuentos máximos antes que los jamones C y V, o bien que los microorganismos del cultivo iniciador habrían crecido más lentamente que los presentes en el jamón antes del salado. Esto último sería consecuencia del hecho de que los microorganismos no inoculados sufrieron la etapa de salado, en la que hubo una selección de las bacterias más tolerantes a una concentración alta de sal y por consiguiente, estas bacterias se vieron menos afectadas por el gran descenso de la a_w en las primeras etapas de secado. Así, al contrario que sucedía en el reposo, el factor cultivo no afectó significativamente a los recuentos en el secado, mientras que el envasado al vacío provocó un aumento significativo de una unidad logarítmica en el número de cocos GC+, posiblemente debido a la mayor actividad de agua que originó en el jamón.

En el producto final, los bajos recuentos de cocos GC+ en el interior de jamones están en concordancia con lo observado por otros autores (Silla y col., 1989; Hernández y Huerta, 1993; Gelabert, 2000). Los recuentos de cocos GC+ fueron ligeramente superiores en el músculo ST, coincidiendo con Cornejo y col. (1992), posiblemente debido a la mayor humedad y menor contenido de sal de este músculo en la mayor parte del proceso (Arnau y col., 1995).

El mayor valor de a_w podría ser el motivo por el que los recuentos de cocos GC+ fueron mayores en los jamones V y SV en ambos músculos (de 0,5 unidades logarítmicas en el RF y 1,0 en el ST), aunque sólo fue significativo en el músculo ST. La inoculación no tuvo ningún efecto significativo en los recuentos finales porque el acceso de los microorganismos inoculados al interior del músculo es difícil. Según Cornejo y col. (1992), los microorganismos presentes en un músculo interno, como el músculo *Biceps femoris* tienen fundamentalmente un origen intrínseco. Esta flora intrínseca estaría en los tejidos internos del animal después del sacrificio.

Bacterias ácido-lácticas

En el caso de las bacterias ácido-lácticas, la permanencia de los jamones envasados al vacío durante la etapa de reposo también dio lugar a recuentos superiores al final de esta etapa, no sólo por el aumento de la a_w que conllevó, sino también por el hecho de que en condiciones de anaerobiosis, estos microorganismos encuentran mejores condiciones para competir (Blickstad, 1984). El hecho de utilizar azúcares probablemente también ayudó a que los

Discusión

recuentos de estas bacterias se mantuvieran durante el reposo. El envasado al vacío durante el reposo representa una situación similar al sistema que utilizan algunas empresas españolas, en las cuales se sigue una tecnología de salado consistente en aplicar la sal y nitrificantes junto con azúcares a los jamones en bombo y apilarlos posteriormente en recipientes estancos, con lo cual el líquido exudado por los jamones va creando una salmuera que los va cubriendo. Con esta tecnología de salado, se han hallado un número importante de estas bacterias incluso al final del proceso (Hugas y Garriga, 1987). Por otro lado, en un estudio preliminar en el que se tomaron muestras en una fábrica que utiliza esta tecnología de salado, se obtuvieron recuentos de 10^4 ufc/g en este tipo de salmueras y de 10^5 ufc/cm² de bacterias ácido-lácticas en la superficie de jamones al final de la fase de salado (resultados no mostrados).

Durante el secado, las bacterias ácido-lácticas fueron el grupo más perjudicado por los cambios en la superficie del jamón. Hernández y Huerta, (1993) estudiaron la evolución de bacterias ácido-lácticas entre 2 y 4 mm de la superficie y observaron un crecimiento muy importante inmediatamente después del reposo, a pesar de que la temperatura fue sólo de 8-9 grados. Tras sólo 30 días de secado, se observó una caída también acusada de los recuentos, debido a la disminución de la actividad de agua, lo cual dificulta su crecimiento y favorece la acción competitiva de los cocos GC⁺. En nuestro caso, los recuentos se tomaron más superficialmente, donde hay unas condiciones especialmente negativas para el desarrollo de este grupo bacteriano. Por este motivo, la disminución de los recuentos en la superficie sería aun más drástica, por lo que la diferencia (no significativa) que se apreció entre los jamones S y SV en el reposo, no se registró en el secado (ver gráfica 4.1.7). Además las bacterias añadidas no sufrieron una selección previa, la cual podría ser importante. Así, Doßmann y col. (1998) observaron que la adaptación de pre-cultivos de *L. sakei* a temperaturas de 22,5 °C y alta concentración de sal (5 %) tuvo como consecuencia una reducción de la fase lag. En relación a esto, Andersen y Hinrichsen (1995) observaron que, en bacon salado y mantenido en salmuera durante 4 días y almacenado posteriormente a 5°C, los recuentos de bacterias ácido-lácticas eran similares a los de bacterias halotolerantes totales (10^9 ufc/g) tras 21 días. Aquellas piezas que no permanecieron en salmuera, a pesar de tener un contenido más bajo en sal, obtuvieron recuentos menores al inicio del periodo de almacenamiento y un crecimiento menor posterior, probablemente debido a una contaminación desde la salmuera de cepas de bacterias ácido-lácticas halotolerantes. Se ha comprobado que en la salmuera utilizada en la fabricación de este producto hay un número importante de microorganismos halotolerantes (Andersen y Hinrichsen, 1995).

En el presente estudio, si bien en la superficie el número de bacterias ácido-lácticas fue bajo, es de esperar que, en zonas ligeramente más profundas, el importante aumento de temperatura (12-13°C) que se produjo al iniciarse la etapa de secado, diera lugar a un crecimiento importante de estas bacterias, especialmente en los jamones SV, los cuales partían con un número mayor y además presentaban mejores condiciones para su crecimiento, así como a una reducción más lenta de su número. A este respecto, Baldini y col. (1977) obtuvieron recuentos de bacterias lácticas de 10^6 ufc/g (del mismo orden que los recuentos de cocos GC+) hasta pasados los 300 días de procesado en 3 zonas del jamón con mayor probabilidad de contaminación externa y más difícilmente deshidratables: bajo el hueso coxal, en zonas musculares recubiertas de piel y grasa, y en la cercanía de la arteria femoral. Estos mismos autores observaron que, a diferencia de los cocos GC+, estas bacterias fueron muy sensibles a la humedad relativa ambiental durante la etapa de salado. Wang, (2001) observó que en piezas de *quadriceps femoris* saladas con 35 g/kg de sal y 8 g/kg de dextrosa, las bacterias ácido-lácticas fueron las predominantes durante su almacenamiento en atmósfera de N₂ durante 20 semanas a 15 °C. Boades y col. (2000) observaron una importante acidificación como consecuencia del crecimiento de las bacterias ácido-lácticas en jamones a los cuales se les inoculó superficialmente el mismo starter usado en este estudio y se les sometió a una tenderización (hasta 2,5 cm), la cual facilitó el acceso de estas bacterias a zonas más internas.

En el producto final el número de bacterias ácido-lácticas fue inferior a 10 ufc/cm² en todos los jamones. De los autores consultados, sólo Hernández y Huerta, (1993) detectaron un número importante de bacterias ácido-lácticas en superficie (10^3 ufc/g) al final de un proceso de curado típico de jamón español.

Levaduras y mohos

A tenor de los resultados, parece que, a excepción de los jamones V, donde las levaduras crecieron ligeramente, en general, los recuentos durante el reposo se mantuvieron o disminuyeron, como ocurrió con las BAL y los cocos GC+. La disminución fue especialmente significativa en los jamones SV. Esto podría deberse a la falta de selección previa y a las condiciones negativas de temperatura ya mencionadas anteriormente, así como a la baja disponibilidad de oxígeno.

Discusión

A mitad del secado, los recuentos en los jamones no inoculados fueron similares a los de los jamones inoculados (ver gráfica 4.1.8), a pesar de partir de un número más bajo tras el reposo, como ya sucedió con los cocos GC+ y posiblemente por las mismas causas que ya fueron discutidas.

Durante el secado, hubo una diferencia importante entre los jamones no inoculados y los inoculados: en los primeros, se desarrolló una flora de mohos superficial que no se apreció en los segundos. Los mohos normalmente superan en número a las levaduras según avanza el secado debido al progresivo descenso de la a_w (Hernández y Huerta, 1993). Así pues, la acción competitiva de los mohos sobre las levaduras fue menor en los jamones V que en los C, debido a la mayor actividad de agua de los primeros. Por esta razón estos últimos registraron recuentos menores de levaduras y una mayor presencia de mohos y la diferencia en el grado de recubrimiento de mohos en ambos grupos de jamones fue aumentando en etapas posteriores.

En los jamones inoculados, los cocos GC+ fueron los principales competidores para el crecimiento de las levaduras. Así, las causas de que el número de levaduras en la superficie de los jamones del tratamiento S fuera superior al de los jamones del tratamiento SV habrían sido, por un lado, la mayor acción competitiva de los cocos GC+ en los jamones SV, debido a su mayor actividad de agua, y por otro lado a que el número de levaduras era mayor en los jamones S que en los SV al inicio de la fase de secado.

En general, los autores que han estudiado la evolución de las levaduras durante el procesado de jamón español encuentran que es similar a la de las bacterias halotolerantes, aunque su número es más bajo en todo el proceso (Hugas y col., 1987; Silla y col., 1989). En la primera etapa del secado esto último ocurrió en todos los jamones excepto en los jamones S, en los que los recuentos de ambos grupos microbianos fueron similares. Esto puede ser debido a que, a diferencia de lo que sucede normalmente, los jamones S partían con recuentos similares de ambos grupos microbianos tras el reposo y que, como varios autores han observado, cuanto más superficial sea la zona donde se efectúe el recuento, la diferencia con respecto al resto de grupos microbiológicos es menor (Carrascosa y col., 1988; Carrascosa, y col., 1989; Silla y col., 1989; Hernández y Huerta, 1993). Así, Hugas y col. (1987), utilizando un sistema similar de toma de muestras (escobillón), observaron que las diferencias entre los recuentos de ambos grupos en la parte externa del jamón se iban reduciendo a lo largo del secado.

En el producto final los recuentos de levaduras fueron muy bajos, en consonancia con lo hallado por otros autores (Carrascosa y col., 1988, Silla y col., 1989; Carrascosa y col., 1990) y no se pudo observar ningún efecto de la inoculación o del envasado al vacío durante el reposo.

5.1.4.2 Muestras de grasa subcutánea

Al contrario que en el magro, en la grasa subcutánea el grupo microbiano dominante fue el de las levaduras que también se vieron beneficiadas por la mayor actividad de agua de los jamones con reposo en vacío. Los recuentos obtenidos concuerdan con los de Saldanha-da-Gama y col. (1997), los cuales obtuvieron recuentos de hasta 10^8 ufc/g levaduras en la grasa del jamón curado, siendo la especie predominante *D. hansenii*.

La inoculación produjo un efecto de aumento (no significativo) del número de levaduras en los jamones con un reposo normal, debido probablemente a que se produjera una ligera contaminación de la grasa con levaduras del cultivo iniciador.

En los jamones con un reposo en vacío, la inoculación no tuvo ningún efecto sobre el número de microorganismos de la grasa, a pesar de que el proceso de vacío seguramente ocasionó una mayor contaminación de los microorganismos inoculados del magro a la grasa. Posiblemente el efecto de esta contaminación se vio contrarrestado durante el reposo por las condiciones de temperatura y de baja disponibilidad de O_2 , tal y como sucedió en el magro. Por otro lado, la diferencia del número de levaduras de la grasa entre los jamones SV y S tras el reposo fue aún más pequeña de lo que fue en el magro, al estar aquella menos contaminada.

5.1.5. EVALUACIÓN DEL ASPECTO Y OLOR DURANTE EL PROCESADO

La evolución de los atributos evaluados a lo largo del proceso nos permite dividir el secado en tres etapas: inicial (desde el fin del reposo hasta los 120 días) media (de los 120 a los 210 días) y final (de los 210 días hasta el fin del proceso).

Como ya se ha comentado con anterioridad, el crecimiento de hongos en la superficie externa, frecuente en el jamón español, no tuvo lugar en los jamones inoculados, posiblemente debido al alto número de levaduras presentes desde el inicio del secado, las cuales colonizaron la

Discusión

superficie del jamón desde entonces e impidieron el desarrollo posterior de hongos (ver figura 4.1.1). Este hecho coincide con lo obtenido por Boades y col. (2000) al utilizar el mismo cultivo iniciador en la superficie de jamón curado. Estos autores también observaron que el uso de dextrosa facilita su rápido desarrollo. Sanabria y col. (1997) y Pardo y col. (1997) hacen una buena revisión de los puntos críticos del sistema APPCC en la producción de jamón curado. A los que mencionan, se podría añadir el uso de cultivos iniciadores como el empleado en el presente estudio, que contengan bacterias no toxicogénicas y levaduras para evitar el crecimiento de hongos, disminuyéndose considerablemente así los riesgos de producción de micotoxinas. En los jamones V, aunque se produjo un crecimiento superficial de levaduras muy importante, no se evitó del todo la colonización de hongos al inicio del secado, probablemente debido a que en estos jamones, el número de levaduras tras el reposo fue menor que en los jamones inoculados. Los jamones V presentaron una menor superficie cubierta de hongos (ver gráfica 4.1.10) debido probablemente a que su mayor actividad de agua favoreció la acción competitiva de las levaduras, lo que también quedó reflejado en los recuentos ya comentados.

Este crecimiento importante de hongos en los jamones con un proceso standard, a su vez fue la causa de que el área del jamón con aspecto de estar cubierta por las levaduras no fuese apreciable en los mismos. En la primera etapa del secado, no se apreciaron diferencias en este parámetro entre los grupos de jamones S, V y SV (ver gráfica 4.1.9). Es decir, que las diferencias observadas en los recuentos de levaduras de estos tres grupos (ver gráfica 4.1.8), no fueron lo suficientemente importantes como para apreciarse visualmente. Fue a partir de la etapa media del secado cuando debido a la presencia de mohos, la influencia de cocos GC+ y las diferencias en actividades de agua, hubo un aumento de las puntuaciones de este descriptor únicamente en los jamones inoculados, siendo este aumento mayor en los jamones S que en los SV. Como consecuencia de esto, se apreciaron diferencias entre los 4 grupos de jamones. En la última parte del periodo de secado, el área cubierta de levaduras disminuyó, lo cual ocurre normalmente con la población microbiana superficial en general (Hugas y col., 1987; Rodríguez y col., 1994).

El envasado al vacío en el reposo originó un menor brillo de la grasa subcutánea (gráfica 4.1.11), debido seguramente a que la mayor humedad a que dio lugar causó un retraso y ralentización del fenómeno del “sudado”, el cual influye de manera primordial sobre el brillo de la grasa. Se ha comprobado como las actividades de agua más bajas causan un mayor sudado en la grasa subcutánea, al producir una mayor rotura de la membrana de los adipocitos, permitiendo

la salida de la grasa de estas células cuando la a_w es inferior a 0,75 (Arnau y Gou, 2001). Por otro lado, en los jamones con un reposo en vacío se registró un mayor crecimiento de levaduras en la grasa, lo cual pudo también afectar el aspecto brillante, bien directamente, o bien indirectamente al influir sobre el sudado. Las levaduras también serían la causa del menor brillo de los jamones S comparado con los C, aunque este efecto de la inoculación fue menor que el del tipo de reposo. Como se ha postulado, quizás se produjo una ligera contaminación de la grasa por el starter. La diferencia entre estos jamones fue pequeña en la primera etapa del secado, posiblemente porque las diferencias de los recuentos de levaduras entre los jamones C y S tampoco fueron importantes (ver gráfica 4.1.8). Sin embargo, esta diferencia creció en la etapa media del secado (diferencia significativa de 2,3 puntos), etapa en la que, tal y como ocurrió en la superficie del magro, los jamones S registrarían el mayor número de levaduras en la grasa y por tanto una disminución del brillo. Por este mismo razonamiento, la inoculación no afectó al brillo de la grasa en los jamones con reposo al vacío, ya que no afectó al número de levaduras en la grasa de estos jamones, como ya quedó evidenciado por los recuentos. En la tercera etapa del secado se produjo un importante aumento del brillo debido al aumento de la temperatura y a la disminución de la humedad relativa.

Una parte de la grasa subcutánea cercana al magro del jamón se funde durante el secado y se desliza cubriendo una zona del mismo. El área de magro del jamón cubierta por esta grasa de fusión sigue un comportamiento similar al del brillo de la grasa subcutánea: un aumento mayor en la última etapa del secado y un efecto similar de la inoculación y reposo al vacío (gráfica 4.1.12). Esta pequeña cantidad de grasa fundida tiene un efecto protector contra la coquera y el encostrado causado por un secado rápido. La estabilidad de la membrana celular de los adipocitos pudo verse aumentada por el mayor contenido de agua y el valor superior del pH en los jamones con reposo en vacío (Arnau y col., 2003a). Como ya se ha comentado (apartado 5.1.3.), los jamones con un reposo al vacío parecieron tener una superficie menos apropiada para el secado y en esto pudo haber influido el hecho de que el área de estos jamones cubierta por la grasa fundida fue menos extensa que en aquellos con un reposo standard. En este sentido, el sudado, lejos de dificultar el secado del jamón, lo podría facilitar y hacerlo más uniforme, ya que evitaría o frenaría el acortezamiento tal y como se observó en la prueba de aplicación de estufaje corto y untado con grasa (ver punto 5.3.3.).

Discusión

Respecto al olor a levadura, su situación al principio y al final del secado es bastante similar a la de las puntuaciones del área cubierta por las mismas. En la etapa intermedia, el importante aumento de la superficie cubierta por levaduras que ocurre en los jamones inoculados, no se tradujo en un aumento del olor a levadura, y además éste disminuyó en los jamones C y en los jamones V. Por otro lado, la intensidad del olor a levadura de los jamones SV fue significativamente mayor a la de los jamones V, a pesar de que el área cubierta por las levaduras en los últimos fue sólo 1,4 puntos menor (gráfica 4.1.13). Así pues parece que en la etapa intermedia del secado existe un solapamiento de esta nota con otras como el olor avinado.

El olor añejo (gráfica 4.1.14) se desarrolló ya durante la primera etapa del secado. La posterior disminución de su intensidad en la etapa media podría deberse al aumento importante de la intensidad de otros olores como el de hongo y las notas afrutado, levadura y curado. En la última etapa del secado hubo un aumento general del olor al que contribuye el incremento de temperaturas y el aumento de la superficie cubierta por la grasa fundida. Esta importante relación entre estos dos parámetros (olor añejo y grasa fundida) se ve apoyada por el hecho de que tanto el reposo en vacío como la inoculación afectaran de manera similar a ambos, produciendo una disminución de sus intensidades. En esta atenuación de los procesos de oxidación también pudo intervenir la actividad catalasa y superóxido dismutasa de los cocos GC+ y un cierto efecto de barrera a la penetración del oxígeno por parte de los microorganismos del cultivo (Lücke y Hechelman, 1987; Geisen y col., 1992; Jessen, 1995; Barrière y col., 1998).

Respecto al olor curado, en general su evolución fue similar a la del olor añejo. La principal diferencia entre la evolución de ambos descriptores fue que a los 210 días la intensidad de olor curado en los jamones V fue significativamente mayor que en los C, cosa que no ocurrió con el olor añejo. Esto pudo deberse a que en los jamones V el olor curado no se vio enmascarada por el olor avinado ni por los hongos de cobertura.

En cuanto los olores afrutado y avinado (gráfica 4.1.16), parece ser que tienen su origen en la acción del cultivo iniciador. Si consideramos que el olor proviene de la parte más superficial, su origen probablemente se deba a los cocos GC+, los cuales tienen una gran capacidad para la producción de ésteres (Stahnke, 1994), que aportan notas afrutadas. Si bien en los recuentos de las muestras tomadas de la parte externa del jamón (método del escobillón) no hubo diferencias entre los jamones inoculados y los que no lo fueron (ver tabla 4.1.5),

probablemente sí que las hubo en zonas más profundas, tal y como se observó en los recuentos efectuados en la superficie del músculo *Adductor* hasta una profundidad de 2 mm (por el método de disección). La formación de ésteres originados por la adición de *S. xylosus* en salchichón se ha atribuido a una oxidación de aldehído a ácido (por enzimas tisulares o microbianos) y posterior esterificación con etanol por parte de este microorganismo. (Stahnke, 1994). Por otra parte, Alonso y col. (2002) observaron que cepas de *D. hansenii* aisladas de jamón curado eran capaces de formar ésteres en carne fresca salada pero Martín y col. (2000) no halló esta capacidad en lomo curado. En la etapa media del secado, esta nota se vio solapada por una nota avinado/avinagrado, similar al de las bodegas de vino y probablemente fue debido al crecimiento de las levaduras, las cuales probablemente alcanzaron su número máximo con posterioridad a los cocos GC+, tal como ha sido observado por algunos autores (Hugas y col., 1987; Hernández y Huerta, 1993). La intensidad de esta nota aromática fue mayor en los jamones SV, a pesar de que el número de levaduras en la superficie del magro no fue superior. Este hecho pudo ser debido a que esta nota se vio aumentada por su solapamiento con la afrutada, o que en los jamones SV los efectos de las bacterias del cultivo se podrían haber sumado al de las levaduras, ya que se ha comprobado que *P. pentosaceus* y *S. xylosus* también pueden producir etanol en cantidades importantes a partir de azúcares (Tetlow y Hoover, 1988; Stahnke, 1994) y *S. xylosus* produce ácido acético en una cantidad 10 veces superior a *P. pentosaceus* (Johansson y col., 1995). Posteriormente esta nota no se detectó, debido probablemente a la reducción de los recuentos microbianos, al solapamiento de otras notas como el añejo o a la evaporación de los volátiles responsables de dicha nota.

El hecho de que los jamones inoculados presentaran una superficie más dura pudo ser debido a la combinación de un efecto físico de barrera de los propios microorganismos inoculados, fundamentalmente levaduras, a un secado superficial excesivo y a un acortezado similar al asociado con el remelo (ver aptdo. 3.6.4). Normalmente el crecimiento microbiano que se considera que puede favorecer este tipo de acortezamiento suele producirse en el reposo, pero en este caso, se pudo haber originado en las primeras etapas del secado. Por otro lado, estos jamones tuvieron un menor efecto protector de la grasa de fusión, lo cual facilitó un mayor secado exterior y pudo contribuir a un grado mayor de acortezamiento. De hecho, la textura en aquellas zonas cubiertas de grasa de fusión era más blanda. A esto, hay que sumar el hecho de que los jamones inoculados carecieron de la capa de hongos, la cual crea un microclima en la superficie que podría evitar el secado excesivo (Lücke, 1986).

5.1.6 ANÁLISIS SENSORIAL EN EL PRODUCTO FINAL

5.1.6.1. Aspecto al corte del producto final

La mayor proteólisis observada en los jamones V y SV fue probablemente la causa de la mayor intensidad del velo blanco y del brillo en estos jamones, ya que el grado de proteólisis se ha ligado tanto con la incidencia del velo blanco y los cristales de tirosina (Virgili y col., 1995a; Virgili y col., 1998; Arnau y col. 1997; Butz y col., 1974) como con la intensidad del brillo (Arnau, 1991; Guerrero y col., 1996). De hecho, en los jamones con textura pastosa por excesiva proteólisis suele observarse también un mayor brillo al corte (Arnau, 1998).

5.1.6.2 Flavor y textura del producto final

Al contrario que en los productos fermentados, en el caso del jamón curado, el papel de la flora microbiana en el desarrollo del flavor característico se considera de menor importancia, (Montel y col., 1998), excepto para imputar sabores defectuosos a los microorganismos, en los cuales sí se considera que la flora microbiana participa de manera muy importante (Campanini y col., 1985; Arnau y Hugas, 1987; Marín y col., 1992; Benezet y col., 1998; Miranda y col., 1998; Arnau, 2000). En ocasiones también pueden generar notas agradables como es el caso de la nota champiñón debida al 1-octen-3-ol producido por algunos hongos (García y col., 1991). Asimismo también se considera que puede originar unas notas de flavor que, aunque no originen un jamón defectuoso, son notas de sabores no asociados al sabor típico del jamón curado realizado con la duración y tecnología propias del jamón español (Arnau, 2000). En concordancia con estas afirmaciones, los resultados obtenidos en esta prueba indican que el cultivo iniciador, constituido por especies presentes en el jamón, introdujo unas notas no asociadas al flavor del jamón español (flavor a pienso y floral) y una nota relacionada con un defecto: el de la coquera.

Además de originar notas extrañas o negativas, la aplicación del cultivo iniciador tuvo otros efectos importantes en el flavor de los jamones: causó una merma en los atributos positivos, como sabor dulce y sabores añejo y a fruto seco. Estos efectos fueron mayores en el

músculo SM que en el BF, ya que aquél fue más directamente afectado por el starter inoculado. El músculo BF en general tuvo un flavor menos intenso que el SM, ya que éste desarrolló una mayor oxidación, al estar más accesible al efecto del oxígeno ambiental y del starter.

El flavor a pienso se relacionó con el flavor debido a una deshidratación de un sustrato rico en productos de hidrólisis proteica. El aumento en la intensidad de esta nota que produjo el envasado al vacío en el reposo, podría ser debido al aumento de la proteolisis superficial que éste pudo causar. El efecto del starter pudo ser debido a la mayor formación de volátiles procedentes de la degradación proteica, a la mayor desecación mencionada anteriormente que se produjo en la parte exterior o a los restos de la flora microbiana presentes en la superficie.

La nota floral cuando está equilibrada con otras, puede contribuir a dar una peculiaridad al producto, aunque no se la considera una nota típica de los productos tradicionales españoles, llegando a ser desagradable si se convierte en la nota dominante (Arnau, 2000). El flavor floral podría deberse al fenilacetaldehído o feniletanol (Berdagué y col., 1991) los cuales podrían provenir de la degradación de Strecker a partir de la fenilalanina (Belitz y Grosch, 1988) y/o de la descarboxilación oxidativa de este aminoácido producida por algunos microorganismos (Andersen y Hinrichsen 1995; Meynier y col., 1999; Alonso y col., 2003). La nota floral detectada frecuentemente en algún tipo de queso muy curado ha sido atribuida a feniletanol o ésteres de feniletilo (Adda y col., 1978), los cuales se producen también en la fermentación de la cerveza y vino respectivamente por parte de las levaduras (Scharpf y col., 1986). *S. cerevisiae* es responsable de este compuesto en masas fermentadas (Frasse, 1993). Sin embargo, parece que las levaduras no serían responsables de esta nota en los jamones de esta prueba porque, si así lo fuera, dicha nota también habría aparecido en los jamones S, los cuales presentaron un mayor número de levaduras en la superficie. Se ha citado a *S. xylosus* como responsable de estas notas en productos fermentados (Montel y col., 1998) y la inoculación de *S. xylosus*, *D. hansenii* y *P. chrisogenum* provocó la aparición de este compuesto en carne estéril salada e incubada a 18 °C y HR 84 % durante 30 días (Alonso y col., 2003). Sin embargo, no se detectó fenilacetaldehído ni feniletanol en salchichón al que se había añadido sólo *S. xylosus* (Stahnke, 1994, 1995b). Por otro lado, la capacidad de *S. xylosus* para producir compuestos volátiles a partir de L-fenilalanina es muy reducida (Moller y col., 1998).

Discusión

Las bacterias ácido-lácticas podrían haber contribuido también a la aparición del flavor floral. El fenilacetaldehído se detectó en embutidos fermentados en los que se añadió *P. pentosaceus* (Johansson y col., 1994) y/o otras bacterias lácticas (Berdagué y col., 1993b) y existen cepas de *Lactobacillus sake* capaces de producir este compuesto a partir de fenilalanina (Montel y col., 1997). Esta nota únicamente apareció en los jamones SV, y es en estos jamones donde se dieron las mejores condiciones para un crecimiento importante de las bacterias ácido-lácticas al inicio de secado en algunas zonas del jamón: mayor actividad de agua y un número más elevado de bacterias presente en el jamón. Si bien los recuentos de estas bacterias no fueron muy altos en la superficie, si pudieron haberlo sido en zonas algo más internas. Para producir una cantidad de fenilacetaldehído importante, estas bacterias no necesitarían estar presentes durante largo tiempo. Dirinck y col. (1997), al analizar los volátiles de jamones salados en salmuera (al estilo del norte de Europa) y con un tiempo de curación corto y una merma del 25 %, hallaron que el fenilacetaldehído era el volátil de mayor concentración y muy similar al del jamón serrano, probablemente debido a que las bacterias ácido-lácticas están en número importante en estas salmueras.

La disminución del gusto dulce ocasionada por la inoculación pudo ser debida en parte a la mayor degradación del azúcar originada por la presencia de un número mayor de microorganismos, especialmente de bacterias ácido-lácticas, cuyos recuentos fueron muy influenciados por la inoculación. Estos resultados contrastan con los obtenidos por Boades y col., (2000), los cuales observaron un aumento de la intensidad de este descriptor al inocular jamones utilizando el mismo cultivo iniciador. Otro factor que también pudo influir en las diferencias halladas en la intensidad de la nota dulce fue el hecho que en los jamones inoculados se produjo una menor cantidad de sustancias sápidas provenientes de la oxidación lipídica, los cuales podrían aumentar la intensidad del gusto dulce (ver apartado 5.2.5.2). El envasado al vacío durante el reposo no originó una disminución de la intensidad del gusto dulce, a pesar de que también tuvo un efecto parecido tanto sobre los microorganismos, aunque de menor importancia (ver apartado 4.1.4) como sobre los procesos oxidativos. Probablemente la mayor concentración de sal en los jamones C y S compensó estos efectos y evitó que se apreciaran diferencias en este atributo.

El defecto de la coquera esta causado por el crecimiento de cocos GC+, hongos y ácaros en la zona que circunda al músculo *Adductor* y a la articulación coxo-femoral y tiene como

consecuencia la aparición de olores desagradables a bodega húmeda (Hugas y Arnau, 1987b). Si bien la aplicación del cultivo no afectó a la apreciación visual de este defecto, probablemente sí contribuyó al agravamiento del mismo. Esto pudo ser debido a que en estos jamones habría habido un mayor crecimiento de cocos GC+ en la zona afectada, los cuales hubieran causado una mayor degradación de la metionina, (constituyente esencial de los ácaros), en espermidina, la cual es responsable del olor desprendido por algunos materiales contaminados por ácaros (Szlendak, 1996). Si bien la inoculación no influyó en el número de cocos GC+ en la superficie, tal vez sí causó un aumento de su número en la zona alrededor del hueso coxal, en la cual los microorganismos inoculados encontraron mejores condiciones para su crecimiento y probablemente se desarrollaron hasta alcanzar números superiores a los registrados en los jamones no inoculados. Tal y como se ha mencionado anteriormente, (aptdo. 5.1.5.) muestras tomadas hasta 2 mm de profundidad en el músculo *Adductor* registraron un número superior de cocos GC+ en los jamones inoculados. Hay que tener en cuenta que la incidencia de esta nota habría sido mayor si se hubiera utilizado para los análisis sensoriales una parte del jamón más cercana a la articulación coxo-femoral, zona en la que esta problemática se manifiesta con la máxima intensidad.

El flavor a fruto seco es una nota compleja y de origen desconocido y que aparece en mayor proporción en jamones de larga duración, siendo más intensa en zonas de humedad baja o intermedia (Arnau, 2000). El aroma de algunas pirazinas presentes en el jamón y que provienen de las reacciones de Maillard se ha relacionado con esta nota en jamón serrano (Flores y col., 1997c). Por otro lado, en Jamón de Parma, Hinrichsen y Pedersen, (1995) hallaron que esta nota afectó positivamente al flavor general y su intensidad se correlacionó con la concentración de aldehidos con ramificaciones metilo, alcoholes secundarios, metil cetonas, esterres de etilo y dimetil trisulfuro. Estos autores atribuyeron el origen de esta nota a la acción de los microorganismos sobre la degradación de aminoácidos. Por otra parte, la inoculación de mohos aislados de jamón sobre sustratos cárnicos ha originado un aumento de pirazinas (Acosta y col., 2003). En nuestro caso esta nota sólo se detectó en jamones no inoculados, que fueron los únicos en los que se observó un crecimiento importante de hongos. También podría ser debido a que en estos jamones hubo una mayor concentración de aldehidos provenientes de la oxidación, los cuales pueden intervenir en las reacciones de Maillard (Ventanas y col., 1992; Hinrichsen y Pedersen, 1995; Flores y col., 1997c; Ruiz y col., 1999), en la cual se originan pirazinas.

Discusión

En cuanto al flavor añejo, esta es una nota agradable relacionada con la oxidación de la grasa, típica en jamones de larga curación (Arnau, 2000). Los jamones utilizados fueron con corte en V, lo cual favorece el efecto de la oxidación sobre el flavor añejo, en el músculo BF (Gou y col., 2000). La intensidad de esta nota fue máxima en los jamones C, los cuales registraron una mayor intensidad del fenómeno del sudado, el cual es de esperar que favorezca la oxidación lipídica. El starter provocó una disminución del sudado, tal y como lo indican las puntuaciones superiores del área del magro cubierto por la grasa de fusión y del brillo de la grasa observadas durante el secado de dichos jamones. Por otra parte, a la actividad de la catalasa y de la superóxido dismutasa de los cocos GC+ se le ha atribuido un efecto positivo al reducir la intensidad de la oxidación (Lücke y Hechelman, 1987; Barrière y col., 1998). La adición de *S. xylosus* a un embutido fermentado causó una disminución de la oxidación (Stahnke, 1994). Talon y col. (2000) observaron que *S. xylosus* y especies de *S. carnosus* redujeron de manera importante la oxidación del ácido linoleico. Además, los mohos que crecieron sobre los jamones control, pudieron haber intervenido en la oxidación lipídica mediante fenómenos de β -oxidación (Acosta y col., 2003).

El envasado al vacío durante el reposo también tuvo efectos negativos sobre el flavor del jamón, ya que, por un lado, originó el aumento o la aparición de notas negativas, como pienso, floral, coquera y por otro causó una disminución de la incidencia de la nota añejo. Las notas negativas podrían ser consecuencia fundamentalmente del mayor desarrollo microbiano a que dio lugar el reposo en vacío. Sin embargo el reposo en vacío no afectó al sabor dulce, cuya intensidad se vio reducida por la inoculación. Una posible explicación es que, el posible aumento en el sabor dulce que el reposo en vacío podría tener al influir sobre el crecimiento microbiano, se vio compensado por la menor concentración de sal observada en los músculos evaluados en los jamones con reposo en vacío.

Hay varios hechos que podrían explicar la menor intensidad de la nota añeja obtenida en los jamones con un reposo en vacío. Por un lado, el fenómeno del sudado se mostró con baja intensidad en estos jamones. Por otro lado, los fenómenos oxidativos se podrían haber atenuado por el hecho de tener una actividad de agua mayor (Belitz y Grosch, 1988). De hecho, hay ciertas notas del flavor del jamón, que no se desarrollan de forma importante hasta que no se ha producido una disminución suficiente del agua (Arnau, 2000). A este respecto, Soriano (2001) observó una correlación negativa entre la humedad del músculo BF y la intensidad del flavor a

jamón curado. Por último otros factores que podrían haber intervenido en las diferencias apreciadas en este descriptor, son el menor contacto con oxígeno en la etapa de reposo y la menor cantidad de sal de los jamones que sufrieron un reposo en vacío (Coutron y col., 1999).

Las notas afrutado y avinado no se detectaron en ningún jamón, lo que está en concordancia con el hecho de que los olores afrutado y avinado tampoco se detectaron en la superficie del producto final (ver tabla 4.1.11). Una posible explicación es la pérdida por evaporación de los compuestos responsables de estos atributos. Así pues la presencia de dichos compuestos en concentraciones detectables pudo haberse restringido a un determinado periodo de tiempo que probablemente coincidió con aquél en el cual el desarrollo microbiano fue máximo. En el caso del Jamón de Parma, los ésteres responsables de notas afrutadas se mantienen en concentraciones importantes hasta el final del proceso. Sin embargo, al aplicársele una capa gruesa de manteca de cerdo, este tipo de jamón mantiene una humedad superficial que puede favorecer que los recuentos microbianos superficiales permanezcan altos durante un periodo de tiempo largo. Así, por ejemplo, Baldini y col. (1977) obtuvieron recuentos de 10^7 ufc/g después de 300 días de procesado en la superficie de jamones de Parma. En el presente estudio, si el periodo de secado hubiera sido más corto, de manera que hubiera concluido cuando los recuentos microbianos eran máximos y la concentración de compuestos responsable de las notas añejo y curado aún no era importante, quizá las notas afrutado y avinado habrían llegado a detectarse. A este respecto, Arnau (2000) obtuvo resultados esperanzadores en ensayos de aplicaciones de cultivos iniciadores en jamones de corta curación.

Por lo que respecta a la textura, la disminución de la dureza en el músculo SM producida por este factor pudo ser ocasionada por la mayor proteólisis registrada en estos jamones y el menor contenido de sal, factores que propician una textura más blanda (Parolari y col 1988; Virgili y col., 1995a; Tabilo y col., 1999). En el músculo BF no se apreció esta diferencia, lo que pudo ser debido a que a valores de humedad elevados, el efecto en la dureza que produce una disminución de la humedad es inferior que a los valores típicos de la humedad del músculo SM (Ruiz-Ramírez y col., 2003), por lo que es más difícil de ser detectado por el panel.

La mayor humedad de los jamones V y SV sería también la causa de que estos jamones presentaran valores inferiores de la fibrosidad en el SM, probablemente como consecuencia del

Discusión

menor contenido en NaCl, mayor índice de proteólisis y menor pérdida de agua. En el BF no se observó esta diferencia, quizás por un motivo similar al ya mencionado en el caso de la dureza.

A pesar de que los jamones con un reposo en vacío sufrieron una mayor proteólisis, no se apreciaron diferencias en la pastosidad en el músculo BF entre jamones, a pesar de la relación entre ambos factores (Guerrero y col., 1996; García-Garrido y col., 1999). Esto podría ser debido a que las diferencias no fueron suficientes para ser detectadas por los panelistas o a que el contenido de NNP expresado en materia húmeda fue similar. Así, mientras el índice de proteólisis puede ser un índice de la actuación de las enzimas proteolíticas (Schivazappa, 1998), el NNP lo puede ser para explicar alguna característica de la textura. En el músculo SM, el tipo de reposo afectó tanto al contenido de NNP, como en el índice de proteólisis, pero tampoco causó una diferencia en la pastosidad que fuera detectada por el panel. En el punto 4.3.6.2 (prueba 3.1.3) se observó que una diferencia similar en estos parámetros físico-químicos en el SM, entre jamones untados con grasa y los no untados, sí vino acompañada de una diferencia en la pastosidad. No obstante, en aquel caso, la diferencia registrada en el contenido acuoso entre ambos grupos de jamones también pudo haber contribuido a ello, ya que se ha encontrado una relación entre ambos parámetros y la pastosidad (Arnau y col., 1998; Garcia-Garrido y col., 1999).

El factor canal afecta a la mayoría de sabores básicos y a la textura, lo cual se explica, en parte, por el efecto significativo que tuvo sobre los parámetros físico-químicos como el contenido acuoso, la concentración de sal y de Nitrógeno no proteico, los cuales, tal y como se ha mencionado anteriormente, tienen mucha importancia en dichos atributos sensoriales. Asimismo, la influencia de este factor sobre el flavor añejo se puede explicar por el hecho de que el factor canal afectó a la fusión de la grasa, lo cual está relacionado con esta nota (ver apartado 5.3.6.2.).

5.2. PRUEBA DE PROCESADO DE LOS JAMONES EN ATMOSFERA MODIFICADA (pruebas 3.1.2a y 3.1.2b)

5.2.1. MERMAS Y DIMENSIONES

La evolución del peso y de la merma de todos los jamones correspondientes a la prueba 3.1.2b fue similar, como corresponde al hecho de que las condiciones de humedad y temperatura en ambos secaderos experimentales (en atmósfera de aire y de nitrógeno) estuvieron en el mismo rango a lo largo de todo el proceso. En el caso de la prueba 3.1.2a, a pesar de que las humedades relativas empleadas en el secadero en AM fueron algo superiores durante los dos primeros tercios del secado, esta fue insuficiente como para afectar a la forma de los jamones o a su merma. Esto se explica por el hecho de que durante el secado las mermas dependen más de la difusividad del agua que de la transferencia externa (Gou, 1998). Los jamones de la prueba 3.1.2b mermaron más que los de la prueba 3.1.2a. debido a varios factores: los primeros tenían menor espesor de grasa, fueron secados con una menor humedad relativa ambiental y la temperatura a lo largo del proceso fue algo mayor en la prueba 3.1.2b.

Los cambios en la longitud, anchura y espesor después del periodo de salado es consecuencia del cambio de postura de los jamones de horizontal a vertical (colgados), como ya se indicó en el punto 5.1.2.

5.2.2. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

El hecho de que en la prueba 3.1.2a las humedades relativas aplicadas a los jamones del tratamiento 1 fueran superiores a las que se sometieron los jamones control no afectó a la merma global pero sí afectó al contenido acuoso en la superficie del jamón. En concreto, el valor de dicho parámetro fue significativamente mayor ($p < 0,1$) en el músculo SM. Arnau y col. (2003a) obtuvieron una diferencia de un 2,7 % en el contenido acuoso de la superficie del SM tras el reposo originada por una diferencia de 7 % en la humedad relativa (78 ± 3 % frente a 85 ± 3 %) durante dicha etapa. En nuestro caso, al analizarse el músculo SM íntegro, las diferencias en la humedad relativa dieron lugar a una diferencia en el contenido acuoso menor que la hallada por dichos autores. Además de las diferentes humedades relativas, el mayor crecimiento de hongos registrado en los jamones en AM también podría haber contribuido a la diferencia de humedades

Discusión

apreciadas en el músculo SM, ya que se ha atribuido un efecto positivo de los mohos sobre la regulación del secado porque pueden reducir la pérdida de agua debido a la cubierta del micelio (Hammes y Knauf, 1993; Jessen, 1995). El músculo SM se vio más afectado por factores externos y por eso la diferencia en el contenido acuoso entre los tratamientos C y 1 fue mayor que en el BF. Así pues las condiciones de secado en los jamones control de esta prueba originaron una diferencia mayor de humedades entre el BF y el SM, lo cual supone un cierto detrimento para la calidad del producto.

Esta diferencia observada en la humedad del SM podría, en parte, ser responsable de la diferencia de los valores del índice de proteólisis registrada en este músculo. Por un lado, un contenido acuoso superior en el músculo facilita la acción de los enzimas tisulares como ya se comentó en el punto 5.1.3. y por otro lado, aunque con menor importancia, una humedad más alta permitió un crecimiento microbiológico superior y son varios los autores que han postulado un efecto microbiano significativo sobre el NNP (Bermell y col., 1992; Rodríguez y col., 1998), especialmente por parte de los hongos (Martín y col., 2002).

Si hacemos una comparación de los resultados obtenidos entre las dos pruebas se observa que la mayor merma observada en los jamones de la prueba 3.1.2b se tradujo en valores inferiores de humedad en dichos jamones. Este hecho, a su vez contribuyó a que los valores del índice de proteólisis obtenidos en los mismos fueran menores, especialmente en el músculo SM, donde las diferencias en humedad entre pruebas fueron mayores.

En la prueba 3.1.2b llama la atención la alta concentración de sal en el músculo BF de los jamones. Esto pudo deberse a varios factores. En primer lugar, durante el secado se pudo haber producido una diferencia de humedades importante entre este músculo y los músculos más externos. Entonces, como existe una tendencia natural a que el cociente NaCl/agua se iguale entre las diferentes partes del jamón (Arnau y col., 1995), se habría producido una importante migración de la sal al músculo BF. Parte de dicho aumento podría provenir de los músculos de la cadera, que tienen una elevada relación sal/agua. Además durante la etapa de salado pudo haber ocurrido una cierta entrada de sal en este músculo, entrada facilitada por el hecho de que el salado en bolsa hermética impide el drenaje de la salmuera formada, la cual se acumula en la parte de la grasa subcutánea. El espesor de la grasa subcutánea de los jamones de la prueba

3.1.2b era menor que el de los jamones de la prueba 3.1.2a, lo que explicaría porque la entrada de sal al BF durante el salado fuese mayor en la prueba 3.1.2b.

Estas diferencias en el contenido de sal del músculo BF entre las 2 pruebas no dio lugar a una diferencia importante del IP en este músculo, a pesar de que está generalmente aceptado que la sal tiene un efecto inhibitor sobre la hidrólisis proteica, (Parolari y col., 1988; Sárraga y col., 1989; Parolari, 1996; Arnau y col., 1997; Toldrá y Flores, 1998). A este respecto, Arnau y col. (1998) hallaron mayor actividad de las enzimas B y B+L extraída y además no hallaron diferencias en los valores de nitrógeno no proteico entre jamones salados con 80 g/kg de sal añadida y los salados con 55 g/kg, lo cual podría indicar que en un cierto intervalo de concentraciones de sal, un aumento de ésta no va asociado necesariamente a una diferencia en el grado de proteolisis. Por último tenemos que tener en cuenta la gran importancia que tiene la materia prima en la proteolisis (Sárraga y col., 1993; Flores y col., 1994; Toldrá y col., 1996), tal y como evidencia el hecho de que el factor canal tuvo un efecto significativo en el IP en la prueba 3.1.2a. Por ello siempre que se hagan comparaciones entre los resultados obtenidos en pruebas o estudios diferentes, y por tanto con importantes diferencias en la materia prima entre pruebas, hay que guardar las correspondientes reservas.

La disminución de la presión parcial del oxígeno favoreció la proteolisis, como indica el aumento del valor del IP del músculo BF a que dio lugar en ambas pruebas. Este hallazgo está en coincidencia con lo hallado por Motilva y col. (1993), quienes observaron que unas condiciones más reductoras favorecen la actividad de las catepsinas B, H y B+L. En el caso del músculo SM de los jamones correspondientes a la prueba 3.1.2a, además hay que sumar el efecto que un mayor contenido acuoso tiene sobre la proteolisis (como ya se observó en la prueba 4.1 y se comentó en 5.1.3), efecto que contribuyó a que la diferencia hallada entre el índice de proteolisis de los jamones control y los del tratamiento 1 fuese mayor.

El hecho de que no se encontraran diferencias en el índice de proteolisis entre los jamones control y los del tratamiento 2, pudo ser debido a que los factores que afectaran a la proteolisis sólo durante la última etapa de secado, habrían tenido pocas consecuencias sobre el producto final ya que la actividad de las proteasas en los últimos meses es reducida (Toldrá y Flores, 1998), especialmente en jamones secos y con un alto contenido en sal (Sárraga y col., 1989; Rico y col., 1990; Virgili y col., 1995b). A este respecto, Hortós (1995) halló unos

Discusión

cambios muy ligeros en el contenido del nitrógeno no proteico en los últimos 200 días de proceso de jamón blanco y Martín y col. (1998b) durante la etapa de bodega en jamón ibérico.

Los valores de pH de la prueba 3.1.2a son similares a los hallados por otros autores en jamón blanco (Astiasaráin y col., 1988; Carrascosa y col., 1989) y algo inferiores a los hallados por otros (Carrascosa y col., 1988; Arnau y col., 1995) sin embargo los valores de pH de la prueba 3.1.2b son inferiores (menores de 5,8), lo que puede ser debido al diferente método de análisis usado, ya que en la prueba 3.1.2b se midió el pH de un homogenizado de la muestra mientras que en la 3.1.2a se midió directamente en el músculo. Con este último sistema, Gelabert (2000) obtuvo valores de pH superiores a 5,9 en los músculos SM y BF. En la prueba 3.1.2a, los valores de pH en el músculo SM de los jamones procesados en AM fueron superiores a los de los jamones control, lo que probablemente fue debido a una mayor producción de sustancias básicas producto de la degradación de aminoácidos, especialmente en jamones sin azúcares añadidos. Este hecho, a su vez, sería consecuencia tanto de la mayor actividad de los enzimas proteolíticos (tisulares y microbianos) ya comentada, como de la presencia de un número superior de microorganismos causantes de esta degradación.

En las condiciones estudiadas, a pesar de que las muestras se tomaron en la superficie del jamón, los diferentes óxidos de colesterol no alcanzaron en ningún jamón el nivel de 1 mg/kg (tabla 4.2.11), que es el valor a partir del cual se considera de riesgo para el consumo humano (Paniangvait y col. 1995). Las concentraciones de 7 β -hidroxicolesterol y colestanoetriol son del mismo orden que las halladas por Vestergaard y Parolari (1999) en jamón italiano, pero estos autores también detectaron 25-hidroxicolesterol y 7-cetocolesterol. La aplicación de una AM dio lugar a reducciones de 7 β -hidroxicolesterol, β -epoxicolesterol y colestanoetriol (este último citotóxico y angiotóxico), ya que la autooxidación favorecida por la presencia de radicales de hidroperóxidos resultantes de la oxidación de ácidos grasos puede ser una de las vías de formación de estos compuestos (Maraschiello 1998).

La reducción del parámetro L* y el aumento del b* son cambios en el color característicos del pardeamiento no enzimático. En el caso de la grasa subcutánea, se deben a la presencia de polímeros coloreados (Lillard, 1987) que se formarían por la condensación entre compuestos carbonilo provenientes de la oxidación lipídica, y los aminoácidos presentes en la grasa subcutánea, en la cual también se hallan aminopeptidasas (Toldrá y col., 1992c). La

reacción de Maillard es máxima con valores de la actividad de agua entre 0,5 y 0,7 (O'Brien y Morrissey, 1989), rango en el que se encontraría la superficie de la grasa subcutánea. Así pues en los jamones del tratamiento 1 se formaron una menor cantidad de polímeros coloreados al experimentar una oxidación lipídica menos intensa y, por tanto, tener menor cantidad de compuestos carbonilo para intervenir en las reacciones que originan dichos pigmentos. No hubo diferencias de color entre los jamones control y los correspondientes al tratamiento 2, ya que en el momento en que éstos fueron dispuestos en el secadero con AM, probablemente ya se habrían producido una cantidad importante tanto de sustancias coloreadas como de compuestos carbonilo y compuestos intermedios del pardeamiento que permitieron que continuaran dichas reacciones con una cierta intensidad.

Respecto al color al corte fresco, el valor de L^* , a^* y b^* del músculo SM fueron inferiores al del BF, en consonancia con otros autores que utilizaron el sistema CIEL $^*a^*b^*$ (Rodríguez-López y col., 1992; Pérez-Alvárez y col., 1998; Cullell, 1999) y el sistema HunterLab (García-Esteban y col., 2003). Estas diferencias se han atribuido a diferencias en la concentración de sal y agua, al movimiento de ésta a la superficie del corte (Pérez-Álvarez, 1998) y a la concentración, oxidación y desnaturalización de la mioglobina (Buscailhon y col., 1995). No hubo ningún efecto significativo del tratamiento sobre el color al corte posiblemente por la escasa penetración del oxígeno al interior del jamón. A pesar de no ser significativo, el valor inferior de a^* en el músculo BF de los jamones control puede ser debido al fenómeno que se conoce por cooxidación: la oxidación lipídica acelera la oxidación de los pigmentos de la carne (Forrest y col., 1979).

El desarrollo del velo blanco en los músculos SM y BF, se evidencia por el aumento de la intensidad del parámetro L^* durante los 15 días posteriores al corte, lo cual posiblemente también fue la causa de la disminución de los parámetros a^* y b^* , ya que el desarrollo del color blanco podría haber enmascarado el resto de colores. La importante variación en los valores de los parámetros CIEL $^*a^*b^*$ que se registró entre los jamones de un mismo lote fue seguramente la causa de que las diferencias registradas entre tratamientos no llegaran a ser significativas. No obstante, los valores inferiores de los parámetros a^* y b^* y superiores de L^* que se obtuvieron en los jamones del tratamiento 1, están en consonancia con las puntuaciones superiores de intensidad del velo blanco asignadas a estos jamones durante la evaluación visual del mismo (ver 5.2.5.1).

Discusión

Por lo que se refiere a la estabilidad del color tras el corte, el color se mantuvo bastante estable durante los 120 minutos tras el corte, como se evidencia por los muy ligeros cambios que se registraron en las componentes del color. Se aprecia una leve disminución de la componente a^* debido a la oxidación del Fe^{+2} del pigmento catalizada por la luz, lo cual coincide por lo observado por otros autores (Rodríguez-López y col., 1992; Cullell, 1999). Cullell, (1999) registró un descenso algo más brusco de este componente, especialmente en el músculo BF, lo que pudo ser debido, entre otras razones, a la mayor deshidratación que se pudo producir al partir de un contenido de humedad superior al del presente estudio. Al igual que lo observado en el color del corte fresco, durante este tiempo, las diferencias entre tratamientos no fueron importantes.

5.2.3. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Etapa de salado

Durante el salado, los cocos GC+ fueron el grupo dominante. A pesar de que crecen mejor en aerobiosis, el tipo de atmósfera no tuvo un efecto significativo sobre su número, debido probablemente a que normalmente, los recuentos de Cocos GC+ y de flora halotolerante en superficie apenas varían durante el salado o disminuyen ligeramente (Hugas y col., 1987; Cornejo y col., 1990; Carrascosa y col., 1989; Marín y col., 1993).

Etapa de secado

En esta etapa hubo diferencias importantes entre la prueba 3.1.2a y la prueba 3.1.2b por lo que respecta a la evolución de la microbiota:

En la prueba 3.1.2b, en los jamones control, los cocos GC+ no fueron el grupo predominante en la primera etapa de secado, a pesar de que estos microorganismos eran mayoritarios tras la etapa de salado. Este hecho, del que no se han hallado referencias, debe achacarse a la baja humedad de los secaderos durante todo el secado comparado con otros procesos (Hugas y col., 1987; Toldrá y Flores, 1998), ya que las bajas actividades de agua favorecen la acción competidora de las levaduras (Blickstad, 1984). Entre los 100 y 200 días,

cuando la temperatura subió paulatinamente hasta 20°C, los cocos GC+ igualaron en número a las levaduras. Así pues, la influencia del aumento de temperatura sobre el crecimiento fue mayor en los cocos GC+ que en las levaduras. La variación en el número de estos microorganismos entre los dos puntos del secado estudiados es poco importante y los recuentos registrados son menores a los hallados por otros autores en la superficie de jamón blanco (Hernández y Huerta, 1993) o ibérico (Rodríguez y col., 1994). Esto también podría achacarse a las bajas humedades relativas aplicadas. La atmósfera de nitrógeno dio lugar a una recuentos más bajos de levaduras y de cocos GC+ a los 100 días de procesado. Esto pudo ser debido a que, por un lado y como ya se observó en la prueba anterior con el envasado al vacío, el bajo nivel de oxígeno pudo acelerar la disminución del número de estos microorganismos en el reposo. Por otro lado también pudo enlentecer su crecimiento durante el inicio del secado, especialmente a humedades relativas bajas y a unas temperaturas inferiores a 14°C. A este respecto, Blickstad, (1984) observó que el efecto de la eliminación del oxígeno ambiental sobre el crecimiento bacteriano a 4 °C es más importante según disminuye la a_w y aumenta la concentración de sal. Hernández y Huerta, (1993) observaron como, al iniciar el secado, los microorganismos en profundidad, y por tanto con menos disponibilidad de oxígeno, crecían más lento que en superficie, a pesar de encontrarse en mejores condiciones de actividad de agua. Posteriormente, en los jamones en AM, se produce un crecimiento entre los 100 y 200 días de procesado favorecido por el aumento de temperatura y la ausencia de la acción competidora de las levaduras, que no experimentaron crecimiento alguno, al ser más dependientes del oxígeno.

Por el contrario, en la prueba 3.1.2a, los cocos GC+ fueron siempre los microorganismos mayoritarios ya que la actividad de agua no fue lo suficientemente baja como para favorecer la predominancia de las levaduras. Además los recuentos de cocos GC+ registrados en esta prueba fueron superiores a los obtenidos en la prueba 3.1.2b debido a la mayor a_w de los jamones, y estuvieron en concordancia con otros autores (Hernández y Huerta, 1993; Rodríguez y col., 1994). A los 85 días de proceso, los jamones en atmósfera modificada tenían un número de Cocos GC+ superior al que tenían los jamones en atmósfera de aire. Esto se debió a la mayor humedad relativa aplicada en los secaderos en AM, factor que, según parece, fue más determinante que la reducción de la presión parcial de oxígeno. Entre los 85 y 200 días de proceso, la subida de las temperaturas de 12 a 20 °C provocó un aumento del número de cocos GC+ en los jamones en atmósfera de aire. Sin embargo, sus recuentos siguieron siendo menores que en los jamones secados en AM, en los cuales esta diferencia de recuentos entre los 85 y los

Discusión

200 días no se registró. Esto pudo deberse a que éstos últimos ya habían alcanzado con anterioridad su número máximo o quizás porque estos jamones habían alcanzado en su parte externa valores de actividad de agua lo suficientemente bajos como para que al sumarse este factor con el contenido reducido de oxígeno se produjese una inhibición del crecimiento microbiano de manera importante. Por lo que respecta a las levaduras, sufrieron una evolución en el secado similar a la de los cocos GC+. El tipo de atmósfera no influyó en su número, lo cual podría indicar que la acción positiva que pudiera haber tenido la mayor actividad de agua superficial de los jamones en AM sobre su crecimiento, fue compensada por la reducción de la concentración de oxígeno de la atmósfera y la mayor acción competidora de los cocos GC+.

Respecto a los mohos, las bajas concentraciones de oxígeno por sí mismas no inhibieron su crecimiento, ya que hay especies de *Penicillium* y *Aspergillus* capaces de crecer con concentraciones inferiores a 1 % de O₂ (Ooirakul, 1991). En el presente estudio, el crecimiento de los hongos se vio más afectado por la humedad relativa que por la reducción del contenido de oxígeno atmosférico aplicada. Por ello, en la prueba 3.1.2a el crecimiento de mohos fue más intenso en los jamones en AM, ya que se secaron en condiciones de mayor humedad relativa. Además en los jamones de la prueba 3.1.2b, los cuales fueron secados a humedades relativas especialmente bajas, no se observó el desarrollo de una capa superficial de mohos, característico del jamón español. Sin embargo, por el efecto sinérgico de la reducción del O₂ atmosférico y la reducción de la actividad de agua sobre el crecimiento de los mohos (Magan y Lacey, 1984), los jamones del tratamiento 1 fueron los únicos que no presentaron crecimiento fúngico en la zona del músculo *Adductor* estudiada. Los jamones del tratamiento 2 sí que presentaron crecimiento fúngico en esta zona, lo que puede ser debido a que el efecto de la reducción de oxígeno es más importante en las primeras fases del crecimiento fúngico que en las últimas (Yanai y col., 1980).

En lo que concierne a las bacterias ácido-lácticas, normalmente su número en el jamón es relativamente bajo si se compara con el de cocos GC+ y se ve influenciado, primero, por la temperatura y alta concentración de sal, y en las etapas finales, por la baja actividad de agua. Al ser sensibles a las bajas temperaturas, su número descende en el reposo y aumenta durante el secado, especialmente en procesos con etapas de temperatura propias de procesos rápidos. Posteriormente se produce una disminución en la última etapa del secado y durante los meses de bodega, debido a la mayor influencia de otros factores como la actividad de agua y concentración de sales. Esta disminución de la a_w durante el secado impide que se alcancen

valores elevados (Hugas y col., 1987; Francisco y col., 1981; Carrascosa y col., 1989; Silla y col., 1989; Marín y col., 1993). Su nivel aumenta si se realiza la inoculación acompañada de la adición de azúcares (Bartholomew y Blumer, 1977a). En nuestro caso, la ausencia de azúcares añadidos, las temperaturas por debajo de 20 °C y las bajas actividades de agua contribuyeron a evitar su crecimiento en superficie en todos los jamones. Otros autores tampoco detectaron su presencia, al menos en una etapa del proceso. Así, Carrascosa y col. (1988) no detectaron este grupo de bacterias ni en superficie ni en el interior de jamones en ninguna de las etapas de un proceso rápido de curación. Carrascosa y col. (1989) obtuvieron, sólo en algunas muestras, recuentos que no superaron el nivel medio de 10^2 ufc/g y dejaron de detectarse tras el reposo en el interior en un proceso lento. Francisco y col. (1981) no detectaron bacterias ácido-lácticas en profundidad, mientras que en superficie obtuvo recuentos de 10^4 ufc/g a mitad de secado en un proceso lento. Kemp y col. (1988) evaluaron los cambios microbiológicos en lonchas de jamón envasadas al vacío y observaron que las bacterias ácido-lácticas tuvieron el comportamiento más irregular de todos los grupos estudiados. Los recuentos variaban mucho entre lonchas, aumentando en unas y disminuyendo en otras con el paso del tiempo. Es probable que haya un efecto zonal muy importante en el recuento de estas bacterias. De hecho, Baldini y col. (1977) obtuvieron recuentos de bacterias lácticas de 10^6 ufc/g (del mismo orden que los recuentos de cocos GC+) incluso tras 300 días de procesado al analizar 3 zonas del jamón con mayor probabilidad de contaminación externa y más difícilmente deshidratables.

Respecto a *B. termosphacta*, es una bacteria contaminante común de la carne envasada al vacío. No se detectó esta bacteria en ningún punto del proceso, lo cual está en concordancia con los resultados obtenidos por Hugas y col. (1987) quienes obtuvieron recuentos inferiores a 1000 ufc/g en el procesado de jamón blanco y con los de Hugas y Garriga (1987) quienes no detectaron crecimiento de esta bacteria durante los 110 días de almacenamiento de lonchas de jamón envasadas al vacío. No obstante, sí se han obtenido recuentos altos en jamones alterados (Cantoni y col., 1983).

La combinación de condiciones higiénicas y las características del proceso evitaron el crecimiento de clostridios sulfito-reductores y de Enterobacterias.

Producto final

Respecto a los análisis en el producto final, el número de microorganismos presente en los músculos ST y RF fue muy bajo si se compara con los valores obtenidos en profundidad por otros autores (Hugas y col., 1987; Francisco y col., 1981; Carrascosa y col., 1989; Silla y col., 1989; Cornejo y col., 1992; Marín y col., 1993). Cornejo y col. (1992) efectuaron análisis microbiológicos en estos músculos y obtuvieron recuentos de entre 10^3 y 10^4 ufc/g, si bien el mayor crecimiento se registró en los periodos en que la temperatura subió de 25 a los 30 °C. En nuestro caso los valores tan bajos podrían deberse a una presencia menor de microorganismos desde el inicio y al uso de temperaturas que raramente pasaron de 25°C.

Por el contrario, en la zona del *Adductor*, se detectó un crecimiento considerable al ser ésta una zona accesible por el oxígeno a través de las grietas que tienden a formarse alrededor del hueso y relativamente poco seca, debido al líquido sinovial de la articulación coxo- femoral. Por estos motivos, los recuentos en esta zona en el producto final suelen ser más altos que en superficie (Hugas y col., 1987). Los cocos GC+ fueron los microorganismos mayoritarios en todos los jamones, tal y como sucede a los 200 días de procesado.

En la prueba 3.1.2b, los jamones C presentaron unos recuentos de cocos GC+ y de levaduras superiores a los del tratamiento 1, quizá porque los valores bajos de a_w sumado a la baja concentración de oxígeno atmosférico produjeron una fuerte inhibición del crecimiento microbiano. Ya se ha mencionado anteriormente que el efecto de la eliminación del oxígeno ambiental sobre el crecimiento bacteriano es más importante según disminuye la a_w .

En la prueba 3.1.2a, los jamones C también registraron unos recuentos de cocos GC+ superiores a los del tratamiento 1, pero los recuentos de levaduras fueron similares en ambos grupos de jamones. Respecto a la diferencia en el número de Cocos GC+, probablemente hubo diversos factores que contribuyeron a que ocurriera. Por un lado los jamones del tratamiento control estuvieron sometidos a una humedad relativa ambiental más baja que los del tratamiento 1, lo que originó un secado más intenso de la parte más externa, tal y como muestran los valores de humedad en el músculo SM (ver tabla 4.2.1). Esto pudo favorecer que se formaran cavidades y grietas en la zona de la articulación coxo-femoral de estos jamones, lo cual favoreció la entrada de oxígeno y el crecimiento de microorganismos. Esta suposición se ve apoyada por el hecho de

que estos jamones fueron los únicos en los cuales se detectó, visualmente, el defecto de la coquera. Por otro lado, en esta zona normalmente hay una humedad elevada, debido a la presencia del líquido sinovial y a la migración de agua del interior del jamón, por lo que quizás la diferencia de humedades relativas entre tratamientos no fue un factor tan determinante para el crecimiento bacteriano como lo fue en la superficie. El hecho de que, a pesar de contar con una mayor disponibilidad de oxígeno, el número de levaduras en los jamones en aire no fuera superior al de los jamones en AM pudo ser debido a que éstos sufrieron una importante acción competidora por parte de los cocos GC+.

La aplicación de una AM únicamente durante la última etapa de secado (tratamiento 2) no fue suficiente para producir una reducción importante en el número de microorganismos porque para entonces los recuentos ya habrían llegado a una fase estacionaria.

Por lo que se refiere a los hongos, únicamente en los jamones del tratamiento 1 de la prueba 3.1.2b se previno el crecimiento de hongos en la zona del *Adductor*. Así pues, el uso de una AM junto a humedades bajas evitaron totalmente el crecimiento de hongos en superficie y en la zona del *Adductor*.

5.2.4. ÁCAROS

La aplicación de una AM al menos durante 45 días, evitó el desarrollo de las formas móviles de los ácaros en los jamones contaminados y curados en condiciones de baja humedad. Estos resultados están en consonancia con los de Lorenzo y Flores (1988) y Guerrero y Arnau, (1995) quienes observaron que la aplicación de una atmósfera de nitrógeno durante 3 días causó la desaparición de las formas móviles.

5.2.5. ANÁLISIS SENSORIALES

5.2.5.1. Análisis del aspecto y olor externo y del aspecto al corte del producto final

Tal y como se observó con el análisis de la estabilidad de color (ver apartado 5.2.2), en el jamón curado se produce una oxidación de los pigmentos de la carne que conlleva la disminución del color rojo. La reducción del contenido de oxígeno ralentiza de manera importante este proceso de oxidación, por lo que los jamones del tratamiento 1 presentan mayor intensidad del color rojo. El hecho de que el color de los jamones del tratamiento 2 fuese similar al de los jamones control indica que los cambios en el color de los jamones secados en aire durante los últimos 75 días de secado no fueron lo suficientemente importantes como para apreciarse visualmente, y que la oxidación del color tiene lugar fundamentalmente en las primeras etapas del proceso.

La cantidad de sustancias olfativas presentes en el jamón se vio reducida por la aplicación de la atmósfera modificada al causar una reducción de la intensidad de los fenómenos de oxidación. La puntuación recibida por los jamones del tratamiento 2 fue más cercana a la de los jamones del tratamiento 1 que a la del control. Esto se debió a la intensa generación de dichos compuestos en las últimas etapas de secado (Hinrichsen y Pedersen, 1995; Flores y col., 1997c) y a la probable pérdida de compuestos volátiles ocurrida en la superficie de los jamones del tratamiento 1.

Por lo que se refiere al aspecto al corte, la ausencia de ácaros y de hongos en los jamones mantenidos en AM durante todo el proceso tuvo como consecuencia la práctica ausencia del defecto de la coquera, la cual sólo se detectó en los jamones que se curaron en aire durante todo o gran parte del secado.

En la prueba 3.1.2a, la diferencias en el rango de humedades relativas aplicadas entre los tratamientos control y 1, pudo haber contribuido también a las diferencias en las puntuaciones del flavor a coquera. Así pues en el aspecto visual de este defecto parece tener más influencia la cantidad de ácaros que pueden acceder a la zona problemática. Al cambiar los jamones de una

atmósfera en aire a otra en nitrógeno se consigue detener o ralentizar el avance de la coquera, seguramente ya iniciada y con ello se reduce su intensidad en el producto final. En la reducción de este defecto, el crecimiento de ácaros y hongos en esta zona pareció tener más importancia que los recuentos microbianos, puesto que los recuentos de las muestras del *Adductor* de los jamones del tratamiento 2 fueron similares a los de los jamones control y sin embargo, en estos últimos la coquera se desarrolló en mayor grado. De hecho, como ya se ha comentado (ver apartado 5.1.6.2) parece que es necesaria una combinación de crecimiento microbiano y presencia de ácaros para que se desarrolle el flavor desagradable de la coquera.

El brillo del músculo BF, evaluado tras el corte, está relacionado con la proteólisis (Arnau y col. 1997) y en otros casos también con la funcionalidad de las proteínas (Arnau y col. 1998). La mayor puntuación del brillo de los jamones que estuvieron en AM durante todo el proceso pudo ser consecuencia de la mayor proteólisis registrada en estos jamones (y evidenciada por un mayor valor del índice de proteólisis) y/o tal vez a una mayor funcionalidad de las proteínas en esas condiciones ambientales.

El velo blanco también está relacionado con la proteólisis más intensa (Arnau y col., 1987a; Virgili y col., 1995a; Arnau y col. 1997) y depende principalmente de la concentración de tirosina (Butz y col., 1974). El velo blanco en el músculo SM fue menor que en el BF, lo cual coincide con otros autores (Arnau 1991, Hortós, 1993) y se debe a que en este último músculo hay mayor contenido acuoso durante el proceso y una menor relación NaCl/H₂O. Estos aspectos permiten una mayor actividad de los enzimas proteolíticos, lo cual se refleja en un mayor índice de proteólisis, como se ha comentado anteriormente.

La cantidad de tirosina presente al final del proceso depende de la actividad de las enzimas responsables de la formación de aminoácidos (aminopeptidasas) y por otro de la degradación que sufre la tirosina. Así pues, el aumento del velo blanco ocasionado por la AM pudo haber sido debido a que la reducción del oxígeno ambiental pudo haber originado un aumento de la actividad aminopeptidásica y/o una disminución de la degradación de tirosina libre.

Respecto al posible efecto de la atmósfera en la actividad de las aminopeptidasas, éste pudo haber sido directo o indirecto.

- a) El efecto directo sobre la actividad de las aminopeptidasas podría haber sucedido de manera similar a lo observado por Motilva y col. (1993) en la actividad de las

Discusión

catepsinas H, B y B+L: unas condiciones más reductoras favorecen su actividad. Si no hubo diferencias entre los tratamientos C y 2, pudo ser debido a que las humedades relativas aplicadas fueron especialmente bajas y las temperaturas lejanas a las óptimas de las aminopeptidasas, que rondan los 37°C (Toldrá y col., 1992b, 1992c). En estas condiciones, la actividad de las aminopeptidasas en los últimos 75 días no sería lo suficientemente importante como para que la reducción del oxígeno atmosférico durante esta etapa diera lugar a diferencias en la concentración de tirosina de tal importancia que causase diferencias visualmente apreciables en la intensidad del velo blanco.

b) Por lo que se refiere al efecto indirecto, Virgili y col. (1998) apuntan que la ruptura de la cadena proteica por las endopeptidasas (catepsinas) es la etapa limitante en la formación de aminoácidos. Así pues, el efecto positivo de la reducción de la presión parcial de oxígeno sobre la actividad de las catepsinas (evidenciada por la diferencia hallada en el IP) también pudo haber contribuido al aumento de la intensidad del velo blanco registrado, ya que una mayor producción de péptidos probablemente conllevó una mayor formación de aminoácidos. Con relación a esto, hay que destacar que en la prueba 3.1.2a, las diferencias en el velo blanco entre los tratamientos C y 1 también se registraron en el músculo SM, porque en este caso, las diferencias en el índice de proteólisis también fueron significativas. El hecho de que no hubiera diferencias en el velo blanco entre los tratamientos 1 y 2 se corresponde con que tampoco hubo diferencias entre sus respectivos valores del índice de proteólisis.

Otro fenómeno que pudo contribuir a estas diferencias en el velo blanco podría ser que la tirosina se hubiera degradado más fácilmente en una atmósfera más oxidante. Una posibilidad es la participación de este aminoácido en las reacciones de Maillard (Belitz y Grosch, 1988). Estas reacciones necesitan la intervención de aldehidos, los cuales estarían en número mayor en los jamones sujetos a una mayor oxidación. A este respecto, Ventanas y col. (1992) observaron que durante el curado del jamón ibérico, la disminución en los niveles del nitrógeno peptídico no era compensada por la suma de los aumentos del nitrógeno aminoacídico y el nitrógeno básico volátil, y lo achacaron a la existencia de otras rutas del catabolismo de los aminoácidos aparte de la desaminación y la descarboxilación, en concreto las reacciones de Maillard y degradaciones de Strecker. El hecho de que no se llegara a apreciar diferencias en el velo blanco entre los jamones de los tratamientos control y los del tratamiento 2 puede ser debido a que en estos últimos ya tenían un número importante de aldehidos que siguieron reaccionando tras pasar a la

atmósfera de oxígeno reducido. A esto se añadiría el hecho de que la diferencia en la formación de aldehidos en los jamones de estos dos tratamientos podría no haber sido importante en los últimos 75 días. De hecho, varios autores han hallado una reducción en el número de aldehidos durante las últimas etapas del secado (Hinrichsen y Pedersen, 1995; Flores y col., 1997c; Ruiz y col., 1999).

5.2.5.2. Análisis del flavor y textura del producto final

A pesar de que los jamones control de la prueba 3.1.2b registraron puntuaciones mayores en la apreciación visual de la coquera que los jamones control de la pruebas 3.1.2a., el flavor asociado a este defecto sólo se detectó en estos últimos, concretamente en el músculo SM, que es adyacente al *Adductor*. Así pues, la intensidad del secado sería la que más influiría en la apreciación visual de la coquera, pero esta apariencia no guarda necesariamente una relación directa con la intensidad del flavor asociado a este defecto. Otros factores que influyen serían el crecimiento de bacterias, hongos y de ácaros, el cual fue de mayor magnitud en la la prueba 3.1.2a. Hay que destacar que a estos jamones no se les aplicó grasa en la superficie, lo cual se suele hacer para prevenir la aparición de la coquera (Arnau, 1998).

Los jamones del tratamiento 1 fueron en general muy pobres en flavor, tal y como se preveía al haber detectado una muy baja intensidad de aroma externo en la pieza entera. Este pobre desarrollo del aroma a lo largo del proceso acarrió un aumento de las notas más relacionadas con productos de corta curación, como carne cruda, animal y metálico (Arnau, 2000), las cuales no pudieron ser enmascaradas y también acarrió una disminución de la aceptabilidad del producto.

Las notas añejo y curado son dos de las notas más destacables del aroma y flavor del jamón curado español (Arnau, 2000). La reducción del oxígeno atmosférico tuvo como consecuencia más directa una drástica disminución de la intensidad de ambas notas. La disminución del flavor añejo se supone que debió a la producción de una cantidad inferior de sustancias provenientes de la oxidación lipídica, ya que cuando la presión de oxígeno es muy baja, la velocidad de la oxidación es aproximadamente proporcional a ella, siendo el efecto mayor en un producto con baja relación superficie-volumen como el jamón (Fennema, 1993).

Discusión

En las puntuaciones asignadas a la nota añejo, se observó que la diferencia entre músculos es mayor en los jamones de la prueba 3.1.2a que en los de la 3.1.2b. Esto podría ser debido a que el músculo BF en estos últimos era menos húmedos y/o a que tenía una cantidad de sal mayor, factores ambos que promueven la oxidación.

La nota curado podría estar relacionada con la producción de volátiles que se originan a partir la degradación de aminoácidos (Careri y col., 1993). Una vía de formación de estos compuestos en el jamón es la participación de aminoácidos, junto con aldehidos y cetonas provenientes de la oxidación, en reacciones de Maillard y de Strecker (Ventanas y col., 1992). Por lo tanto, al favorecer la disminución de la formación de estos derivados de la oxidación, la aplicación de la AM probablemente también originó una menor producción de volátiles provenientes de estas reacciones y por tanto una reducción de la intensidad de la nota curado.

El hecho de que los jamones del tratamiento 2 recibieran puntuaciones de las notas añeja y curada más cercanas a las de los jamones del tratamiento 1 que a las de los jamones control, podría indicar que la etapa que abarca los últimos 75 días fue la más importante en la producción de sustancias con impacto en el aroma. Una razón para este hecho podría ser la importancia de la pérdida de agua que se produjo en esta última fase, ya que se ha observado que para que se desarrollen algunas notas, como el curado, es necesario un cierto grado de secado (Arnau, 2000). El secado favorece la oxidación lipídica y las reacciones de Maillard y de Strecker (Belitz y Grosch, 1988; Ventanas y col., 1992; Flores y col., 1997c), lo cual podría explicar dicha dependencia del aroma por el grado de secado. De hecho, la disminución de productos de la oxidación lipídica, como aldehidos alifáticos que han observado varios autores en las últimas fases de secado se ha atribuido a la participación de éstos en reacciones con aminoácidos (Ventanas y col., 1992; Hinrichsen y Pedersen, 1995; Flores y col., 1997c; Ruiz y col., 1999), lo cual pondría en evidencia la intensidad de las reacciones de Maillard y de Strecker en esta etapa del proceso.

La disminución de la intensidad del flavor añejo causada por la aplicación de la AM únicamente en la última parte del secado fue más importante que la registrada por el flavor curado. Esto podría ser debido a que tras ser cambiados al secadero con AM, los jamones del tratamiento 2 continuaran las reacciones entre los productos de oxidación y los aminoácidos de manera que la cantidad de compuestos aromáticos provenientes de la oxidación lipídica que se

perdieron (como consecuencia de reacciones de éstos con aminoácidos u otras sustancias), fue mayor que la de los que se formaron.

El flavor proveniente de la oxidación lipídica es característico del jamón español (Dirinck y col., 1997; Sabio y col., 1997) y los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que la oxidación lipídica además representa el principal origen de las sustancias volátiles presentes en el jamón español directa o indirectamente. Así pues, el flavor del jamón probablemente depende de la proporción entre los compuestos que provienen directamente de la oxidación lipídica y los que provienen de la reacción de éstos con los aminoácidos. En dicho equilibrio influirían, entre otros factores, la humedad y la presión parcial de oxígeno. Así, la prevalencia de la nota añeja sobre la curada podría deberse a un mayor número del primer grupo de compuestos y viceversa. Si el número de compuestos que provienen directamente de la oxidación lipídica es muy grande, aparecerían notas rancias desagradables. Algunos productos de la reacción de Maillard, especialmente las melanoidinas, tienen un efecto antioxidante (Namiki, 1988), lo cual también podría contribuir a que el equilibrio entre ambos grupos de compuestos sea el adecuado. Esto podría explicar el porque, mientras que la oxidación de los lípidos del tejido muscular no da lugar a sabores ni olores anómalos, los lípidos del tejido adiposo al enranciarse siguen una pauta de comportamiento normal, impartiendo características sensoriales desagradables (Flores y col., 1985b). En este tejido, la concentración de sustancias provenientes directamente de la oxidación es mayor, ya que la concentración de aminoácidos que reaccionan con los productos de oxidación es menor y además se beneficia en menor grado del efecto antioxidante de los productos de la reacción de Maillard. Cambios en el sabor similares a éstos también se han registrado en jamones serranos de larga curación, en los cuales por encima de 22 meses de curado la aceptabilidad disminuyó y el índice de TBA el NNP, la pastosidad y la intensidad de sabor rancio aumentaron, mientras la intensidad del flavor a curado no lo hizo (Roncalés y col., 2003).

Por otra parte, en los jamones del tratamiento 1, al sufrir una proteólisis más intensa, y una menor degradación de aminoácidos en ambos músculos, la concentración de éstos seguramente fue superior, tal y como parecen confirmar las puntuaciones superiores del velo blanco (ver 5.2.5.1) que recibieron estos jamones. Este mayor contenido de aminoácidos probablemente contribuyó a la mayor intensidad del sabor amargo que se registró en estos jamones. Virgili y col. (1998) analizaron dos grupos de jamones que diferían en la intensidad de

Discusión

sabor amargo y observaron que el contenido total de aminoácidos libres era superior en los jamones más amargos.

En la prueba 3.1.2b, los jamones sometidos a AM durante todo el proceso obtuvieron puntuaciones más bajas del sabor dulce. Este hecho no sólo fue debido al posible enmascaramiento de este sabor básico por el sabor amargo, ya que los tratamientos control y 2 tienen una puntuación similar de éste último y sin embargo se diferencian en un punto en la intensidad del gusto dulce. Parece, pues estar relacionado con la producción de sustancias provenientes de la oxidación lipídica y de la degradación de los aminoácidos. Esta diferencia en el sabor dulce ocasionada por la AM no se apreció en el músculo SM de los jamones de la prueba 3.1.2a, quizá porque la mayor concentración de sal en los jamones secados en aire pudo interferir en la apreciación del gusto dulce.

Asímismo, y a diferencia de lo que ocurrió en la prueba 3.1.2b, en los jamones de la prueba 3.1.2a sucedió que el tipo de atmósfera no afectó a los sabores metálico y amargo, lo que pudo ser debido a que la proporción de las sustancias sápidas en el producto final fuera diferente en cada prueba debido a diferencias en la materia prima y en las condiciones de proceso.

En general, está muy extendida la opinión de que las bacterias no juegan un papel importante en el desarrollo del flavor característico del jamón curado (Huerta, 1986; Montel y col., 1998). Sin embargo, en trabajos recientes se ha postulado que los microorganismos sí podrían tener influir de manera destacable en el flavor del jamón español (Martín y col., 2000; Alonso y col., 2002; Alonso y col., 2003; Acosta, 2003) y de Parma (Hinrichsen y Pedersen, 1995). Los resultados obtenidos en este trabajo refuerzan la hipótesis que en el jamón español la importancia de los microorganismos en la formación directa de compuestos volátiles es menos importante que los procesos bioquímicos oxidativos y de degradación de aminoácidos. Esto se puso en evidencia en la prueba 3.1.2a, ya que los jamones en AM registraron un importante crecimiento de bacterias y hongos en superficie durante un periodo de tiempo prolongado y sin embargo el flavor fue extremadamente pobre. Así pues, el principal papel que podrían tener los microorganismos en el jamón curado es el de contribuir a la hidrólisis proteica, sobre todo a la formación de aminoácidos libres, los cuales como hemos visto son precursores importantes de compuestos aromáticos siempre que haya un grado mínimo de oxidación. A este respecto Martín y col. (2002) observaron que la inoculación con *P. chrysogenum* aislado de jamón ibérico en un

lomo curado obtenido en condiciones asépticas, causó un aumento de la cantidad de aminoácidos libres tras 106 días de maduración y Alonso y col. (2002) observaron una importante actividad proteolítica sobre proteínas miofibrilares de cepas de *P. commune* y en menor medida de *S. xylosus* y *D. hansenii* aisladas de jamón ibérico.

Respecto a la textura, los valores inferiores de la dureza y de la fibrosidad que recibió el músculo SM de los jamones del tratamiento 1 en la prueba 3.1.2a, probablemente fue debido a la menor pérdida de agua y mayor proteolisis que sufrieron. En el apartado 5.1.6 ya se ha mencionado la relación entre estas variables. Asimismo, la mayor proteolisis causada por la aplicación de la AM tanto en el músculo BF en ambas pruebas como en el músculo SM en la prueba 3.1.2a también contribuyó a las puntuaciones de mayor pastosidad otorgada a los jamones del tratamiento 1.

Por otra parte, tal vez el contenido reducido de oxígeno ambiental pudo tener un efecto positivo en la funcionalidad de las proteínas, lo cual también pudo contribuir a que se observara esta diferencia en la pastosidad. Quizás, por este motivo, en la prueba 3.1.2b, la aplicación de la AM provocó un aumento en la pastosidad del músculo SM a pesar de que no hubo diferencias en el índice de proteolisis. La menor funcionalidad de las proteínas a concentraciones de sal altas pudo ser el motivo de que, en la prueba 3.1.2b, la pastosidad del músculo BF fuera inferior a la del SM, suceso poco frecuente, tal y como se puede observar en 4.1.6.2, 4.2a.5.2 y 4.3.6.2. A este respecto, Arnau y col. (1998) observaron que el aumento del contenido de sal no afectó a los valores de nitrógeno no proteico y sin embargo dio lugar a una disminución de la pastosidad en jamones serranos de pH alto (superior a 6,2) y a una disminución de la adhesividad tanto en jamones de pH alto como de pH bajo (menor de 5,8). Este hecho fue atribuido por los autores a una menor funcionalidad de las proteínas en los jamones con un contenido de sal superior.

La AM aplicada únicamente durante los últimos 75 días, no originó ningún cambio en algunos descriptores relacionados con la proteolisis, como la pastosidad y el sabor amargo, como ya ocurriera con el índice de proteolisis y con el velo blanco del músculo BF.

Como consecuencia de todos los cambios mencionados la aceptabilidad del producto llegó a verse reducida en 2 puntos cuando la AM se aplicó a todo el proceso y alrededor de 1 punto cuando sólo se aplicó en los últimos 75 días.

Discusión

El factor canal afectó fundamentalmente a los sabores básicos y a la textura, lo cual está en concordancia con el hecho de que también afectara al contenido de sal, la humedad y al índice de proteolisis, parámetros que, como ya se ha mencionado anteriormente, tienen una importante influencia en el gusto y textura.

5.3. PRUEBA CON ESTUFAJE CORTO Y APLICACIÓN DE GRASA

5.3.1. MERMAS

Durante el periodo de estufaje, la diferencia de temperatura entre los jamones sometidos al estufaje y el resto era de 7-8°C. Con esta diferencia de temperatura, el periodo de 4 días se demostró insuficiente como para que la pérdida de agua extra que causó el estufaje se reflejara en un aumento importante de la merma.

La aplicación de grasa, a pesar de que influyó en el contenido de humedad del SM, como se verá más adelante, no influyó en la merma global del jamón.

5.3.2. MEDIDAS DIMENSIONALES

En el salado se produjo una ligera disminución de la longitud y una importante reducción del espesor, que coincidió con un aumento de la anchura debido al efecto de la gravedad y a la pérdida de agua. Durante el reposo la merma producida, unido al efecto de la gravedad al cambiar a posición vertical (colgado), causaron un acusado descenso en la anchura. El efecto de la gravedad hizo aumentar el espesor y la merma lo hizo disminuir, lo que explica la pequeña variación de esta dimensión durante el reposo.

Durante el secado posterior, los tres parámetros disminuyeron ligera y continuamente, siendo la longitud el parámetro que menos cambió debido a la rigidez que proporcionan los huesos. Estos resultados coinciden con los hallados por Boades (1997).

El hecho de que, a partir del segundo día posterior a la aplicación de grasa, los jamones untados tuvieran un espesor menor podría ser debido a que los jamones permanecieron en posición horizontal dos días después del untado, y esta posición, como ya se ha comentado, provoca una disminución del espesor. Esta diferencia en el espesor, podría haber sido importante, como se verá más adelante.

5.3.3. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

La disminución de 1,9 g/100 en la cantidad de agua del músculo SM que ocasionó la aplicación de grasa podría haber sido debida a un efecto protector contra el acortezamiento. La aplicación de una capa de manteca es una práctica común para evitar los problemas asociados a un secado excesivo, como el acortezamiento o la coquera (Hugas y Arnau, 1987b). Esta práctica da lugar a un perfil de humedades más plano, esto es, una mayor humedad en superficie, y una menor humedad en zonas más profundas del músculo SM. Este efecto es menor cuanto menor es el espesor de la capa de grasa añadida (Gou, 1998). En nuestro caso, la aplicación repetida de capas muy finas de grasa de fusión, probablemente dio lugar a un aumento ligero en la humedad en la parte más superficial del jamón que pudo ser suficiente para evitar el fenómeno de acortezamiento provocado por un secado excesivo. Por este motivo, aunque la humedad en la parte más superficial pudo haber sido mayor en los jamones untados, el contenido acuoso del músculo SM fue menor.

Hay indicios que apuntan a que los jamones a los que no se aplicó la grasa sufrieron un acortezamiento: Por un lado, el hecho de que en ellos no se registró un crecimiento superficial de hongos (que sí sucedió en los jamones untados), probablemente fue debido a que su humedad en la parte más externa fue inferior. Además recibieron puntuaciones menores en la homogeneidad en el color al corte y mayores del defecto de la coquera (ver 4.3.5.1.), el cual, como ya se ha mencionado, está relacionado con un secado superficial excesivo. Este secado superficial excesivo y el desarrollo de este acortezamiento pudieron ser favorecidos por los valores de la humedad relativa en el secadero que disminuyeron hasta llegar al 50 %, así como por un tiempo largo de secado, tras el que se llegó a una merma final de 39 %.

Discusión

Además de reducir la intensidad del acortezamiento, otro factor que pudo favorecer el secado de los músculos SM en los jamones untados podría haber sido la ligera disminución del espesor anteriormente mencionada.

En las pruebas anteriores se ha visto como una diferencia de alrededor de 2g/100g en la humedad da lugar a diferencias significativas del IP (ver tabla 4.1.2), por lo que la disminución del índice de proteolisis originado por la grasa añadida podría ser debido a la menor humedad de los jamones untados. Si bien dichos jamones presentaron un leve crecimiento de hongos, algunos de los cuales pueden ser proteolíticos (Martín y col., 2000; Céspedes 2001), este hecho no compensó los efectos que la disminución de la humedad tuvo sobre los enzimas propios de la carne, los cuales probablemente contribuyeron más a la degradación proteica que los enzimas microbianos, tal como parece suceder en productos fermentados (Verplaetse, 1994).

Por otro lado, y como se observó en la prueba con atmósfera modificada (ver 5.2a.1), un ambiente más oxidante, como el proporcionado por el untado, podría haber influido también sobre el IP, bien sea por la acción sobre los enzimas o sobre los aminoácidos.

El estufaje sólo tuvo efecto sobre el contenido acuoso del músculo BF de los jamones untados, quizá porque en estos jamones el efecto de la temperatura se sumó al del mayor diferencial de humedades entre el BF y la superficie y por tanto la migración de agua a la superficie en estos jamones se vio facilitada. A este respecto, Arnau y col. (1997) observaron que, si la temperatura del 6º (y último) mes de curado se aumentaba en un jamón previamente envuelto en plástico para evitar mermas, el contenido de agua en el BF se reducía ligeramente y lo atribuyeron a una mayor difusión del agua del BF a otros músculos más secos.

En la presente prueba, la duración del estufaje realizado fue insuficiente para causar efectos importantes en las características sensoriales de flavor o textura del producto final. Toldrà y Etherington (1988) hallaron que la temperatura óptima de actividad de la catepsina B es de 30 °C y para las catepsinas H y L es de 37 °C. Así pues, al subir la temperatura de 26-27 a 35 °C, probablemente la actividad de la catepsinas H y L aumentó, pero disminuyó la de la catepsina B. Además el estufaje se llevó a cabo a los 8 meses de proceso y en estudios realizados en jamón curado se ha observado que la actividad de la catepsina D prácticamente desaparece después de cinco meses y la de las catepsinas B,H y L ha disminuido incluso un 40% en este punto del

proceso (Toldrá y Etherington, 1988). Estas podrían ser las razones por las que el aumento de la temperatura de 26-27 °C a 35 °C en los jamones sometidos a estufaje fue insuficiente para ver diferencias en la proteólisis en un periodo de tiempo de cuatro días. De hecho, Arnau y col. (1997) investigaron el efecto de la temperatura (20, 25 y 30 °C) en el sexto (último) mes de procesado de jamones blancos, y no observaron diferencias significativas entre los jamones procesados a 20 y 25°C. Únicamente entre las temperaturas de 20 y 30 °C observaron diferencias significativas en la concentración de tirosina y de los descriptores, brillo, intensidad de velo blanco, pastosidad y sabor picante de los músculos BF. Estas diferencias se atribuyeron a una mayor actividad de las proteasas. En este caso, aunque el peso de los jamones era similar a los utilizados en el presente estudio, las temperaturas de los 5 primeros meses fueron más bajas que en nuestro caso, por lo que la humedad de los jamones en el momento del estufaje sería mayor y, por tanto, la actividad de las proteasas sería también mayor. Por este mismo motivo, probablemente, Virgili y col. (1995b) obtuvieron mayores valores de nitrógeno no proteico en jamones secados a 18°C durante el cuarto mes de procesado que en los que lo fueron a 15 °C en el mismo periodo de tiempo, ya que la diferencia de temperaturas ocurrió en una etapa en que los jamones tienen grado de humedad importante.

Además aunque la diferencia de la actividad proteolítica total entre los jamones sometidos a estufaje y el resto hubiera sido importante, seguramente habría tendido enseguida a igualarse. Así, Flores y col. (1985a) compararon dos grupos de jamones secados a temperaturas inferiores a 22 °C excepto durante un periodo de 15 días, en el cual uno de ellos fue sometido a un estufaje de 15 días a 30°C. Inmediatamente después del estufaje, que tuvo lugar tras 6 meses de procesado, los valores de IP fueron superiores en los jamones estufados, pero tras 14 meses de procesado los valores se igualaron. Un hecho similar pudo haber ocurrido en el presente estudio. Es decir, el estufaje sí pudo haber producido un aumento de la actividad proteolítica, pero las condiciones (de humedad, concentración de sal) en las que queda el producto tras el estufaje son menos adecuadas para la proteólisis que las que tienen los jamones no sometidos a estufaje, y por ello se pueden llegar a igualar los valores del IP de ambos grupos de jamones.

Los valores menores de pH en la parte externa de los jamones tratados con grasa pudieron deberse a la menor proteólisis registrada en la zona superficial del jamón debido a su mayor secado. También podría haber contribuido a este hecho la acidez proporcionada por la grasa añadida, por su contenido en ácidos grasos libres.

Discusión

El factor canal tuvo efecto significativo en la mayoría de parámetros, lo que indica la vital importancia de que se seleccione la materia prima para que sea lo más homogénea posible, así como la importancia de la realización del diseño experimental que tenga en cuenta este factor.

5.3.4. COLOR INSTRUMENTAL

5.3.4.1. Estabilidad del color tras el corte

De manera similar a como se observó en la prueba 3.1.2b, los valores de L^* , a^* y b^* fueron superiores en el músculo BF.

La menor humedad del músculo SM de los jamones tratados con grasa podría ser la causa de los valores más bajos de la luminosidad, al causar una concentración superior de los pigmentos (García-Esteban y col., 2003). En cuanto a la disminución del valor de este parámetro en el músculo BF causada por el estufaje, se podría explicar por una mayor desnaturalización de los pigmentos.

5.3.4.2. Color de la grasa durante el proceso

Como ya se comentó en el apartado 5.2.2, la reducción del parámetro L^* y el aumento del b^* son cambios en el color característicos del pardeamiento no enzimático por reacciones entre compuestos carbonilo y aminoácidos presentes en la grasa subcutánea. Estas reacciones son también las responsables del aumento de valor en la componente a^* (Mastrocola y col., 2000), tal y como sucede en la segunda mitad del proceso.

La intensidad de las reacciones de Maillard en el magro es mayor en la última etapa de secado (Ventanas y col., 1992), mientras que, en nuestro caso, los cambios del color en la superficie de la grasa subcutánea fueron más pronunciados en la primera etapa del secado. Así pues estos resultados parecen indicar que la reacción de Maillard podría seguir una evolución diferente en sendas partes del jamón. Hay que tener en cuenta que el contenido de agua en el exterior de la grasa es menor que en el magro y que, por tanto, probablemente los valores bajos

de actividad de agua que favorecen las reacciones de pardeamiento aparezcan antes en la grasa subcutánea que en el magro. Otro factor que hay que considerar es que el número de aminoácidos en la grasa es menor que en el magro y ello pudo contribuir a la reducción de la intensidad de las reacciones de Maillard en la última etapa del secado.

El estufaje efectuado se demostró insuficiente para producir cambios significativos en el color de la grasa.

5.3.5. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Como ya sucedió en las pruebas anteriores, los cocos GC⁺ fueron los microorganismos mayoritarios en la zona estudiada.

La adición de grasa causó una disminución de los recuentos de cocos GC⁺ de 1,5 unidades log ufc/g. Este hecho probablemente fue debido a que se evitó la formación de fisuras causadas por un secado excesivo y en las cuales pueden crecer más fácilmente este grupo de microorganismos (Hugas y Arnau, 1987b). Asimismo, la grasa añadida dificultó la colonización de estas fisuras por parte de los ácaros y frenó la entrada de oxígeno, lo cual también podría haber sido positivo para evitar un crecimiento excesivo de microorganismos.

El número mayor de levaduras en los jamones untados podría ser causa de la menor acción competidora de los cocos GC⁺, al estar éstos presentes en menor número.

Si bien, la aplicación de la grasa en superficie produjo beneficios en cuanto al menor desarrollo microbiano en esta zona problemática, también favoreció el crecimiento en superficie de una capa fina de hongos blancos, que se desarrolló bajo la grasa aplicada y extendió su micelio a través de la misma. La aplicación de grasa con un compuesto antifúngico liposoluble autorizado que no altere las propiedades sensoriales podría ser la solución para reducir ambos fenómenos microbiológicos. Esta práctica se podría incluir dentro del sistema APPCC como una medida preventiva para evitar el riesgo de crecimiento de hongos en superficie y de bacterias alterantes o patógenas en la zona del *Adductor* adyacente a la articulación coxo-femoral, así como la entrada de ácaros a dicha zona.

5.3.6. ANÁLISIS SENSORIAL DEL PRODUCTO FINAL

5.3.6.1. Evaluación del aspecto al corte

La proteólisis está muy relacionada con el velo blanco y por tanto la menor intensidad de este fenómeno observada en los jamones tratados con grasa está en conformidad con la reducción del índice de proteólisis en el SM ya comentada. De modo similar a como se ha visto anteriormente (ver 5.2a.1), un entorno más oxidativo, como el que proporcionó la grasa añadida, pudo haber contribuido a esta diferencia observada en el velo blanco.

La drástica atenuación del defecto de la coquera junto con el aumento en las puntuaciones de la uniformidad del color del corte que causó el untado, contribuyeron a la mejora del aspecto del jamón. Lo primero estuvo en concordancia con los resultados microbiológicos y parece ser que fue debido fundamentalmente a que la grasa evitó la formación de grietas y cavidades por las cuales los ácaros podrían haber accedido al interior del jamón y en las que los cocos GC+ pueden crecer con mayor facilidad. La mayor uniformidad del color pudo haberse debido a que en los jamones untados el secado del músculo SM fue más regular y se evitó el acortezamiento.

La aplicación de grasa únicamente afectó al brillo del músculo BF de los jamones sometidos a estufaje quizá porque el efecto conjunto de disminución de espesor y aumento de temperatura facilitaron la pérdida de agua, lo cual pudo hacer disminuir la intensidad de este atributo (Arnau y col., 1998).

5.3.6.2. Evaluación del flavor y la textura

La reducción en la magnitud del defecto de la coquera causado por la aplicación de grasa y que se observó visualmente y microbiológicamente, también se aprecia en el flavor asociado a este defecto, tanto en el músculo SM como en el BF. Este hecho, unido a los aumentos del flavor añejo y de la incidencia del flavor a fruto seco y a la drástica reducción en la incidencia del flavor tostado en el SM a los cuales también da lugar la adición de grasa, tuvieron como consecuencia un aumento de la aceptabilidad.

El aumento del flavor añejo, podría haberse debido a la aportación de sustancias aromáticas de la grasa aplicada o a la presencia en ésta de sustancias reactivas que, por un lado habrían promovido una oxidación más intensa de la grasa propia del jamón.

La nota tostado puede relacionarse con la presencia de compuestos como pirazinas y furanos, las cuales se han detectado en jamones serranos (Flores y col., 1997c; Dirinck y col., 1997), excepto en aquellos en cuyo procesado la temperatura no superó los 16 °C (Sabio y col. 1997) y con compuestos heterocíclicos azufrados, los cuales se detectan fundamentalmente en carne cocinada (Gandemer, 1998). El principal origen de estos compuestos parece ser la reacción de Maillard (Baines y Mlotkiewicz, 1983). La mayor presencia de aldehidos provenientes de la oxidación lipídica pudo ser la causa de la reducción de la incidencia de esta nota en los jamones tratados con grasa. Se ha comprobado que al añadir ácidos grasos insaturados a un sistema modelo ribosa-cisteína o ribosa-metionina tiene lugar una disminución de la proporción de compuestos azufrados (Whitfield, 1992; Farmer, 1994). Esto es debido principalmente a la reacción de aldehidos provenientes de la oxidación lipídica con H₂S procedente de la degradación de Strecker de los aminoácidos azufrados, lo cual disminuye la disponibilidad de H₂S para formar compuestos azufrados. Estos compuestos azufrados tienen un umbral de detección muy bajo y proporcionan aromas desagradables a carne quemada. Este tipo de compuestos no es frecuente en jamón curado, pero el secado superficial tan intenso que sufrieron los jamones no untados, favorecido por el fenómeno de acortezamiento pudo haber promovido su formación en la superficie en cantidades que, aunque bajas, podrían haber sido suficientes para ser detectados, ya que la reacción de Maillard es mayor cuanto menor es la actividad de agua (O'Brien y Morrissey, 1989). Por otro lado, los aldehidos provenientes de la oxidación reaccionan con amoníaco (formando bases de Schiff no volátiles) reduciendo la disponibilidad de este reactivo para formar pirazinas (Gandemer, 1998).

Así pues, los compuestos derivados de la oxidación lipídica, además de ser los principales responsables de la nota añeja, podrían contribuir a la reducción de la intensidad de notas no deseables en el jamón, como la nota tostado y al desarrollo de la nota curado mediante la degradación de Strecker y las reacciones de Maillard.

Discusión

Por tanto, a pesar de que la reacción de Maillard y la degradación de Strecker pueden ser fuente de compuestos importantes para el flavor curado, también podrían contribuir a la aparición de notas negativas. Quizá si el procesado se hubiera acortado, estas notas a tostado no habrían aparecido en el producto terminado. De la misma manera Flores y col. (1984) comprobaron que en un proceso rápido, los jamones desarrollaron antes sus características sensoriales típicas, pero al cabo de 12 meses de procesado perdieron sensiblemente su calidad como consecuencia del deterioro del sabor y de un endurecimiento excesivo que conllevó una pérdida de jugosidad.

En pruebas preliminares, se reprodujo el flavor a pienso al someter a desecación carne que había sido previamente tratada con proteasas (resultados no mostrados). Así pues, se relacionó esta nota con una deshidratación de un sustrato rico en productos de hidrólisis proteica. La disminución de la intensidad de esta nota causada por la aplicación de grasa podría deberse a la mayor humedad superficial que la aplicación de grasa originó, así como a una menor disponibilidad de aminoácidos superficiales para intervenir en reacciones que aporten compuestos responsables de esta nota. Así pues, parece ser que es necesario que haya un equilibrio entre los aminoácidos, grasa y humedad del jamón para que se produzcan los compuestos responsables de notas aromáticas adecuadas y se evite la formación de compuestos no deseados en cantidades detectables.

La aparición de la nota de fruto seco se ve favorecida por la humedad baja del jamón (Arnau, 2000). Dicha nota no se detectó en los jamones no untados, quizá porque en la superficie de estos jamones, que es la única zona donde la humedad probablemente fue inferior a la de los jamones untados, esta nota fue enmascarada por la nota tostado. Otro posible motivo de esta diferencia es que en los jamones untados hubo un mayor crecimiento de hongos en la superficie, lo cual, tal y como se discutió en el punto 5.1.5., podría favorecer la aparición de esta nota.

El aumento del flavor curado ocasionado por la adición de la grasa se debió, probablemente, a que algunos productos de oxidación lipídica presentes en la grasa aplicada o generados por ésta en la propia grasa de jamón reaccionaron con los aminoácidos libres, dando lugar a compuestos responsable de esta nota. En el apartado 5.2.5.2. ya se habló de la importancia de la oxidación lipídica para el desarrollo de este atributo.

La aplicación de la grasa también tuvo un efecto muy importante en la textura del músculo SM. Por un lado, el contenido más bajo de humedad que registraron los jamones untados podría ser el motivo del valor más alto en la fibrosidad y por otro lado la menor proteólisis registrada en estos jamones podría ser la causa de los valores mayores de dureza y menores de la adhesividad, pastosidad y desmenuzabilidad (tal y como se mencionó en 5.1.6.2).

El factor canal volvió a ser significativo en la mayoría de los descriptores utilizados, así pues su influencia fue mayor que la de parámetros tecnológicos como el untado y el estufaje.

- 1) La aplicación del cultivo iniciador utilizado, si bien reduce considerablemente crecimiento superficial de mohos, y por tanto, los riesgos asociados al mismo, provoca la aparición de sabores impropios del jamón curado español, así como la pérdida de algunas propiedades aromáticas características del mismo. Estos cambios se deben tanto a la acción directa de los microorganismos inoculados, como por los cambios que provoca en la superficie. El cultivo iniciador utilizado no parece indicado para jamones de larga curación.
- 2) El envasado al vacío durante la etapa de reposo originó: una reducción del crecimiento de mohos en superficie; una disminución de la pérdida de peso; una potenciación de los efectos negativos del uso del cultivo iniciador y cambios negativos en la textura, aspecto y flavor. Estos efectos fueron consecuencia principalmente del mayor contenido de humedad a que dio lugar dicha modificación tecnológica, así como a los cambios que provocó en la superficie del jamón.
- 3) El uso de una atmósfera con un contenido reducido de oxígeno durante todo el proceso contribuye a mejorar el la salubridad del producto ya que provoca una disminución de la concentración de óxidos de colesterol y, en combinación con el uso de humedades relativas suficientemente bajas, es eficaz para evitar el crecimiento de hongos y ácaros, tanto en superficie como en el interior del jamón. Sin embargo, el flavor del jamón resultante es muy pobre, por lo cual se desaconseja su utilización comercial a no ser que se combine con un proceso que mejore el aroma (ahumado, etc.). Cuando esta atmósfera se aplica únicamente durante la última parte del proceso se consigue la eliminación de las formas móviles de los ácaros y la disminución de la intensidad de la coquera y el producto resultante tiene un flavor intermedio entre el producto standard y aquél sometido a una atmósfera modificada durante todo el proceso.
- 4) El aumento de la temperatura de 25-27 °C a 35 °C durante 4 días no causa ninguna diferencia importante en las características físico-químicas o sensoriales del jamón curado mediante el proceso aplicado en este estudio.

Conclusiones

- 5) La aplicación repetida de pequeñas cantidades de grasa líquida en la superficie del jamón mejora el aspecto, la textura y flavor del mismo, actuando como agente protector contra los defectos del acortezamiento y de la coquera. Así pues, el fenómeno conocido popularmente como “sudado” de la grasa contribuye a la calidad sensorial del jamón curado español.
- 6) La oxidación lipídica, a través de la formación de sustancias volátiles tanto de forma directa como indirecta a través de la interacción de las sustancias derivadas directamente de la misma con otros compuestos, es indispensable para el desarrollo del aroma típico de jamón tradicional español, siendo un factor más importante que la acción de los microorganismos normalmente presentes en el jamón.
- 7) La inclusión del factor canal en el modelo estadístico permite un mejor estudio de los efectos de las modificaciones tecnológicas introducidas. El modelo aplicado evidencia que la materia prima influye significativamente sobre la mayoría de los parámetros estudiados, llegando a tener una repercusión más amplia en la calidad sensorial del jamón que la que tuvieron cada una de las modificaciones tecnológicas aplicadas, y que por tanto es fundamental seleccionar adecuadamente la materia prima para obtener un producto regular.

- Acilu, M., Font, J., Garmendia, A., Susaeta, I. y Azpiroz, G.** (1999). Caracterización de los compuestos volátiles responsables del defecto cala del jamón curado. *Alimentación, equipos y tecnología*, abril 99: 55-57.
- Acosta, R., Nuñez, F., Andrade, M.J., Benito, M.J. y Córdoba, J.J.** (2003). Actividad proteolítica y capacidad de generación de compuestos volátiles en un sustrato cárnico por mohos aislados de jamón curado. *Proceeding II Congreso Mundial del Jamón*, Cáceres.
- Acha Gutiérrez, A., García Cachán, M.D. y Fernández Martín, J.A.** (1994). Nuevas tendencias en la lucha contra los ácaros del jamón curado. *Eurocarne* 31: 45-48.
- Adda, J., Roger, S. y Dumont, I.** (1978) *En Flavour of foods and Beverages*. Editado por G. Charalambous y G. Inglett. Academic Press, Nueva York
- Alasnier, C.** (1996). Evolution post-mortem des lipides musculaires et activités lipolytiques chez le lapin. Ph. D. Thesis. Bordeaux I University. 165 p.
- Alford, J.A., Smith, J.L. y Lilly, H.D.** (1971) Relationship of microbial activity to changes in lipids of foods. *Journal of Applied Bacteriology* 34 (1): 133-146.
- Alonso, M., Asensio, M.A., Bermúdez, E. Acosta, R., y Nuñez, F.** (2002) Generation of volatile compounds by *Staphylococcus xylosum*, *Debaryomyces hansenii* and *Penicillium chrysogenum* during pork ripening. 48th ICoMST, Rome:380-381.
- Alonso, M., Asensio, M.A., Acosta, R., Bermúdez, E. y Nuñez, F.** (2003). Efecto del nivel de aminoácidos libres en la formación microbiana de compuestos volátiles durante la maduración de carne de cerdo. *Proceeding II Congreso Mundial del Jamón*, Cáceres.
- Andersen, H.J. y Hinrichsen L.L.** (1995). Changes in curing agents, microbial counts and volatile compounds during processing of green bacon using two different production technologies. *J. Sci Food Agri.* 68: 477-487.
- Anónimo** (2003) *Flavours and fragrances*. Sigma Aldrich
- Antequera, T., López-Bote, C.J., Córdoba, J.J., Gracia, C., Asensio, M.A., Ventanas, J., García-Regueiro, J.A. y Díaz, I.** (1991). Lipid oxidative changes in the processing of iberian pig hams. *Food Chemistry*, 45: 105.
- Aristoy, M.C. y Toldrá, F.** (1995). Isolation of flavor peptides from raw pork meat and dry-cured ham. In: *Food Flavors: Generation, analysis and Process Influence*. Charalambous, G., Ed., Elsevier Science Publ. B. V. Amsterdam, 1323.
- Aristoy, M.C. y Toldra, F.** (1998) Concentration of free amino acids and dipeptides in porcine skeletal muscles with different oxidative patterns. *Meat Science* 50 (3) 327-332.
- Armero, E., Baselga, M., Aristoy, M.C. y Toldrá, F.** (1999a). 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: 1280-1284.
- Armero, E., Flores, M., Toldrá, F., Barbosa, J.A., Olivet, J., Pla, M. y Baselga, M.** (1999b). 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: 1147-1154. 9
- Armero, E., Barbosa, J.A., Toldra, F., Baselga, M. y Pla, M.** (1999c) Effects of the terminal sire type and sex on pork muscle cathepsins (B, B + L and H), cysteine proteinase inhibitors and lipolytic enzyme activities. *Meat-Science*; 51 (2) 185-189
- Arnau, J.** (1987a). Defectos en el jamón curado. Capítulo VI: Aparición de hongos en el interior y exterior del jamón. En *El jamón curado: aspectos tecnológicos*. J. Arnau, M. Hugas, J.M. Monfort (Ed.). Institut de Recerca i Tecnologies Agrioolimentàries. Girona. (pp. 171)
- Arnau, J.** (1987b). Defectos en el jamón curado. Capítulo IV: La rancidez de los jamones curados. En *El jamón curado: aspectos tecnológicos*. J. Arnau, M. Hugas, J.M. Monfort (Ed.). Institut de Recerca i Tecnologies Agrioolimentàries. Girona.
- Arnau, J.** (1991) Aportaciones a la calidad tecnológica del jamón curado elaborado por procesos acelerados. Tesis Doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona

Bibliografía

- Arnau, J.** (1993) Tecnología de elaboración del jamón curado. *Microbiología SEM* 9: 3-9.
- Arnau, J.** (1998). Principales problemas tecnológicos en la elaboración del jamón curado. En: *El Jamón curado: Tecnología y análisis de consumo*. Simposio Especial- 44th ICoMST. Editado por I.R.T.A y Eurocarne. Autor: Arnau, J. y Monfort, J.M.: 71-86.
- Arnau, J.** (2000). Aspectos tecnológicos que afectan al desarrollo de la textura y del flavor. En *II Symposium Internacional del Jamón Curado*. Editado por I.R.T.A y Eurocarne. Autor: Monfort, J.M.: 27-42.
- Arnau, J.** (2003) Control del secado para uniformizar la textura del jamón. *Proceeding II Congreso Mundial del Jamón, Cáceres*
- Arnau, J. y Casademont, G.** (1987). El envasado del jamón curado. Capítulo I: Parámetros físico-químicos en jamón curado deshuesado y envasado al vacío. En *El jamón curado: aspectos tecnológicos*. J. Arnau, M. Hugas, J.M. Monfort (Ed.). Institut de Recerca i Tecnologies Agroalimentàries. Girona.
- Arnau, J. y García-Regueiro, J.A.,** (1987). Conservadores: penetración de sus componentes activos. En *El jamón curado: aspectos tecnológicos*. J. Arnau, M. Hugas, J.M. Monfort (Ed.). Institut de Recerca i Tecnologies Agroalimentàries. Girona. (pp. 47)
- Arnau, J. y Guerrero, L.** (1994): Physical methods of controlling mites in dry cured ham. *Fleischwirtschaft* 74 (12): 1311-1313
- Arnau, J. y Hugas, M.** (1987). Defectos en el jamón curado. Capítulo I: Jamones ácidos y putrefactos. En *El jamón curado: aspectos tecnológicos*. J. Arnau, M. Hugas, J.M. Monfort (Ed.). Institut de Recerca i Tecnologies Agroalimentàries. Girona. (pp. 133)
- Arnau, J. y Gou, P.** (2001). Effect of air relative humidity on ham rind and subcutaneous salted fat during the resting period. *Meat Science* 58: 65-68.
- Arnau, J., García-Regueiro, J.A., Hugas, M. y Monfort, J.M.** (1987a). El velo blanco en el jamón curado envasado al vacío. En *El jamón curado: aspectos tecnológicos*. J. Arnau, M. Hugas, J.M. Monfort (Ed.). Institut de Recerca i Tecnologies Agroalimentàries. Girona. (pp101).
- Arnau, J., Hugas, M. y Monfort, J.M.** (1987b). Medidas preventivas para la lucha contra los parásitos del jamón curado. En *El jamón curado: aspectos tecnológicos*. J. Arnau, M. Hugas, J.M. Monfort (Ed.). Institut de Recerca i Tecnologies Agroalimentàries. Girona. (pp213).
- Arnau, J, Hugas, M., García-Regueiro, J.A. y Monfort, J.M.** (1987c) Precipitados de tirosina en la superficie de corte del jamón curado. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos* 27 (3): 398-404.
- Arnau, J., Maneja, E., Guerrero, L. y Monfort, J.M.** (1993) Phosphate crystals formation in raw cured ham. *Fleischwirtschaft* 73 (8): 875-876.
- Arnau, J., Gou, P. y Guerrero, L.** (1994). The effects of freezing, meat pH storage temperature on the formation of white film and tyrosine crystals in dry-cured hams. *J Sci Food Agric* 66: 279-282.
- Arnau, J., Guerrero, L., Casademont, G. y Gou, P.** (1995). Physical and chemical changes in different zones of normal and PSE dry-cured hams during processing. *Food Chem.* 52 (1): 63-69.
- Arnau, J., Guerrero, L., Hortós, M. y García-Regueiro, J.A.** (1996). The composition of white film and white crystals found in dry-cured hams. *J Sci Food Agric* 70: 449-452.
- Arnau, J, Guerrero, L. y Gou, P.** (1997). Effects of temperature during the last month of ageing and of salting time on dry-cured ham aged for six months. *J. Sci Food Agric* 74: 193-198.
- Arnau, J., Guerrero, L. y Sàgarra, C.** (1998). The effect of green ham pH and NaCl concentration on cathepsin activities and the sensory characteristics of dry-cured hams. *J Sci Food Agric* 77: 387-392.

- Arnau, J., Gou, P. y Comaposada, J.** (2003a). Effect of the relative humidity of drying air during the resting period on the composition and aspect of dry-cured ham surface. *Meat Science* 65 (4):1275-1280
- Arnau, J., Gou, P. y Comaposada, J.** (2003b). Control del secado para uniformizar la textura del jamón curado. *Proceedings II Congreso Mundial del Jamón, Cáceres.*
- Arnau, J., Guerrero, L. y Gou, P.** (2003c). Effect of meat pH and the amount of added nitrite and nitrate on colour uniformity of dry-cured hams. *Fleischwirtschaft International* 1: 31-32.
- Arnau J., Palacios M., Comaposada, J. Gou, P** (2003d). Relacion entre la temperatura y la actividad de agua en soluciones saturadas y diferentes hidratos de Na_2HPO_4 y NaH_2PO_4 . *Proceeding II Congreso Mundial del Jamón, Cáceres*
- Asensio, M.A., Martín, A., Alonso, M., Acosta, R. y Córdoba, J.J.** (2003). Potential of fungal starter cultures to control dry-cured ham ripening. *Proceeding II Congreso Mundial del Jamón, Cáceres.*
- Astiasarán, I., Beriain, M.J., Melgar, J., Sánchez-Monge, J.M., Villanueva, R. y Bello, J.** (1988). Estudio comparativo de las características de jamones curados de cerdo blanco elaborados con distinta tecnología. *Rev. Agroquím. Aliment.* 28 (4).
- Astiasarán, I., Sánchez-Monge, J.M., Villanueva, R. y Bello, J.** (1989). Modificaciones de la fracción nitrogenada en el jamón de cerdo blanco durante el proceso de curación. *Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment.* 29, 99.
- Ayres, J.C., Leistner, L., Sutic, M., Koehler, P.E., Wu, M.T., Halls, N.A., Strzelecki, E. y Escher, F.** (1974). Mold growth and mycotoxin production on aged hams and sausages. *4th International Congress of Food Science and Technology* 9: 204-205
- Baines, D.A y Mloztiewicz, J.A.** (1983). The chemistry of meat flavour. En: *Recent advances in the chemistry of meat.* De.: Bailey, A.J. The Royal Society of Chemistry, Cambridge. 118-164.
- Baldini, P.** (2001) Il prosciutto stagionato in Europa. *Proceedings I Congreso Mundial del Jamón, Córdoba.* Editado por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. pp 105-115
- Baldini, P., Bernardi, E.P. y Raczynski, R.** (1977). Indagini sul prosciutto tipico di Parma: influenza della fase di salagione sull'evoluzione dei parametri chimico-fisici e della popolazione batterica. *Industria Conserve* 1 (2): 16-26.
- Baldini, P.; Campanini, M.; Pezzani, G. y Palmia, F.** (1984). Réduction de la quantité de chlorure de sodium employé dans les produits séchés. I. Jambons Crus. *Viandes Prod. Carnés.* 5 (3): 83-97.
- Barbieri, G., Bolzoni, L., Parolari, G., Virgili, R., Buttini, R., Careri, M. y Mangia, A.** (1992). Flavor compounds of dry-cured hams. *J. Agric. Food Chem.* 40 (12): 2389-2392.
- Barrière, C., Montel, M.C. y Talon, R.** (1998). Production of catalase and superoxide dismutase by *Staphylococcus carnosus* and *Staphylococcus xylosus*. *Proceedings 44th. International Congress of Meat Science and Technology.* Barcelona.
- Bartholomew, D.R. y Blumer, T.R.** (1977a). The use of commercial *Pediococcus cerevisiae* starter culture in the production of Country-style hams. *J. Food Sci.* 42 (2): 494-497.
- Bartholomew, D.T. y Blumer, T.N.** (1977b). Microbial interactions in country-style hams. *Journal of Food Science* 42 (2): 498-502
- Baxter, J., Gibbs, P.A. y Blood, R.M.** (1983) Lactic acid bacteria: their role in food preservation - a literature survey. *Scientific and Technical Surveys,* Leatherhead Food RA.
- Belitz, H.D y Grosch, W.** (1988). *Química de los Alimentos;* Springer: Berlin, pp 272, 281-282.
- Benezet, A.; De la Osa, J.M.; Botas, M.; Olmo, N.P. y Pérez Flórez, F.** (1998). Flora microbiana de zonas alteradas en jamón curado. *Alimentaria,* Mayo 98, 33-36.

Bibliografia

- Berdagué, J.L., Denoyer, C., Le Quéré, J.L. y Semon, E.** (1991). Volatile components of dry-cured ham. *J. Agric. Food Chem.* 39: 1257-1261.
- Berdagué, J.L.; Bonnaud, N., Rousset, S. y Touraille, C.** (1993a). Influence of pig crossbreed on the composition, volatile compound content and flavour of dry cured ham. *Meat Sci.* 34 (1): 119-129.
- Berdagué, J.L., Monteil, P., Montel, M.C. y Talon, R.** (1993b). Effects of starter cultures on the formation of flavour compounds in dry sausage. *Meat Sci.* 35 (3): 275-287.
- Bermell, S.; Molina, I.; Miralles, C. y Flores, J.** (1992). Study of the microbial flora in dry-cured ham. 6. Proteolytic activity. *Fleischwirtsch.* 72 (12): 1684-1685.
- Blickstad, E.** (1984) Influence of water activity on microbial development in minced, cured pork, in relation to gas headspace composition. *Food Microbiology* 1: 177-185.
- Boades, C.** (1997). El premsat del pernil: Conseqüències tecnològiques. Trabajo de investigación. Universitat de Girona
- Boades, C., Gou, Guardia, D. y Arnau, J.** (2000). Efecto de la dextrosa y de dos sistemas de inoculación de un cultivo iniciador en las propiedades sensoriales del jamón curado. En II Symposium Internacional del Jamón Curado. Editado por I.R.T.A y Eurocarne. Autor: Monfort, J.M.: 27-42.
- Boades, C., Gou, P., Valero, A. y Arnau, J.** (2001). Changes in different zones of dry-cured ham during drying. Moisture and sodium chloride content. *Fleischwirtsch* 1: 91-93.
- Bolzoni, L., Barbieri, G. y Virgili, R.** (1996). Changes in volatile compounds of Parma ham during maturation. *Meat Sci.* 43 (3): 301-310.
- Bösinger, S., Luf, W. y Brandl, E.** (1993). Oxysterols: their occurrences and biological effects. *International Dairy Journal*, 3: 1-33.
- Buscailhon, S., Berdague, J.L. y Monin, G.** (1993) Time-related changes in volatile compounds of lean tissue during processing of French dry-cured ham. *Journal of the Science of Food and Agriculture*; 63 (1): 69-75.
- Buscailhon, S., Berdagué, J.L., Bousset, J., Cornet, M., Gandemer, G., Touraille, C. y Monin, G.** (1994a). Relations between compositional traits and sensory qualities of french dry-cured ham. *Meat Sci.* 37 (2): 229-243.
- Buscailhon, S., Berdagué, J.L., Gandemer, G., Touraille, C. y Monin, G.** (1994b). Effects of initial pH on compositional changes and sensory traits of french dry-cured hams. *Journal of Muscle Foods* 5: 257-270. 12
- Buscailhon, S., Monin, G., Cornet, M. y Bousset, J.** (1994c) Time-related changes in nitrogen fractions and free amino acids of lean tissue of French dry-cured ham. *Meat-Science* 37 (3): 449-456
- Buscailhon, S., Touraille, C., Girard, J.P. y Monin, G.** (1995). Relationships between muscle tissue characteristics and sensory qualities of dry-cured ham. *Journal of Muscle Foods* 6(1): 9-22
- Butz, R.G., Blumer, T.N., Christian, J.A., Swaisgood, H.E. y Lucas, H.L.** (1974). Factors responsible for white film formation on cut surfaces of dry-cured hams. *J. Food Sci.*, 39, 516.
- Campanini, M., Barbuti, S., Ghisi, M. y Baldini, P.** (1985) Growth and/or survival at low temperature of enterobacteria isolated from spoiled raw hams. *Industria Conserve* 60 (4): 300-303.
- Campanini, M.; Mutti, P. y Previdi, M. P.** (1987) Caratterizzazione di *Micrococcaceae* da insaccati stagionati. *Industria Conserve*, 62: 3-6.
- Cantoni, C., Molnar, M.R. y Renon, P** (1966) Lipase delle *Micrococcaceae* e liolisi del grasso suino. *Arch. Vet. It.* 17 (6): 31-37.
- Cantoni, C., Bianchi, M.A., Renon, P., y Aubert, S.** (1969). Ricerche sulla putrefazione del prosciutto crudo. *Archivio Veterinario Italiano* 20 (5): 355-370
- Cantoni, C., Comi, G. Y Fagnani, V.** (1983) *Brochotrix termosphaeta* in derivati carnei.

Industrie Alimentari Maggio, 1983: 357-362.

Cantoni, C., Cattaneo, P. y Brenna, O. (1987). Una nuova alterazione del prosciutto crudo stagionato. *Ind. Alimentari*, 12, 1158.

Careri, M., Mangia, A., Barbieri, G., Bolzoni, L., Virgili, R. y Parolari, G. (1993). Sensory property relationships to chemical data of Italian-type dry-cured ham. *J. Food Science* 58 (5): 968-972.

Carrapiso, A.I., Alonso, M., Muriel, M.E., Córdoba, J.J. y García, C. (2000). Control de la calidad del jamón ibérico. (II) Aseguramiento de la calidad sensorial. *Eurocarne* 91.

Carrascosa, A.V. y Cornejo, I. (1991). Characterization of *Micrococcaceae* strains selected as potential starter cultures to spanish dry-cured ham processes: slow process. *Fleischwirtsch.* 71 (10): 1187-1188.

Carrascosa, A.V.; Marín, M.E.; Avendaño, M.C. y Cornejo, I. (1988). Jamón Serrano. Cambios microbiológicos y fisico-químicos durante el curado rápido. *Alimentaria* 194: 9-12.

Carrascosa, A.V.; Marín, M.E. y Cornejo, I. (1989). Cambios microbiológicos y fisico-químicos durante el curado lento. *Alimentaria* 206: 15-22.

Carrascosa, A.V.; Marín, M.E. y Cornejo, I. (1990). Variación zonal de parámetros microbiológicos y fisico-químicos durante un proceso de curado rápido de jamón serrano español. *Ind. Conserve* 65: 336-340.

Carrascosa, A.V., Sanabria, C., Cornejo, I., Boadas, C. y Arnau, J. (2000) Microbial induction of deep tissue putrefaction in dry-cured hams. *Fleischwirtschaft* 80 (1): 110-114.

Cava, R. (1997) Influencia de la alimentación sobre los fenómenos oxidativos desarrollados durante la maduración del jamón de cerdo ibérico. Tesis doctoral. Universidad de Extremadura.

Céspedes, F. J. (2001) Avances en el desarrollo de cultivos iniciadores fúngicos para jamón. *Proceedings I Congreso Mundial del Jamón, Córdoba*. Editado por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía: pp 85-89.

Cheftel, J.C. y Cheftel, H. (1976) Introduction a la biochimie et a la technologie des aliments. Vol. I. Editado por Enterprise Moderne d'Édition. Paris, France.

Comi, G. y Cantoni, C. (1983). Presenza di lieviti nei prosciutti crudi stagionati. *Ind. Aliment.* 22: 102-104.

Comunidad Europea (1999). Pliego de condiciones para la elaboración de jamón serrano. Reglamento CE 2419/1999.

Córdoba, J.J.; Antequera, I.; García, C.; Ventanas, J.; López-Bote, C. y Asensio, M.A. (1994a). Evolution of free amino acids and amines during ripening of Iberian cured ham. *J. Agric. Food Chem.* 42 (2): 2296-2301.

Córdoba, J.J.; Antequera, I.; García, C.; Ventanas, J.; López-Bote, C. y Asensio, M.A. (1994b). Hydrolysis and loss of extractability of proteins during ripening of iberian ham. *Meat Science* 37: 217-227.

Córdoba, J.J. (2001) Caracterización de proteasas de *Penicillium chrysogenum* aislado de jamón curado y su expresión en levaduras. *Proceedings I Congreso Mundial del Jamón, Córdoba*. Editado por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía: pp 79-83.

Coretti, K. (1977) Starterkulturen in der Fleischwirtschaft. *Fleischwirtschaft* 57: 386-394

Cornejo, I. y Carrascosa, A. (1991). Characterization of *Micrococcaceae* strains selected as potential starter cultures in Spanish dry-cured ham processes. I: Fast process *Fleischwirtsch.* 71 (1): 66-68.

Cornejo, I., Carrascosa, A.V., Marín, M.E. y Avendaño, M.C. (1990) Influencia del salado, el lavado y el reposo sobre la flora superficial del jamón curado.

Cornejo, I.; Marín, E. y Carrascosa, A.V. (1991). *Serratia liquefaciens*: un posible alterante del jamón serrano español. *Cárnica* 2000. 90 (6): 61-64.

Bibliografía

- Cornejo, I.; Carrascosa, A.V.; Marin, M, E. y Martin, P.J.** (1992). Considerations about the origin of microorganisms that grow on the deep muscular tissues of dry-cured spanish hams during processing. *Fleischwirtsch.* 72 (10): 1405-1407.
- Coutron-Gambotti, C., Gandemer, G., Rousset, S., Maestrini, O. y Casabianca, F.** (1999). Reducing salt content of dry-cured ham: effect on lipid composition and sensory attributes. *Food Chemistry* 64 : 13-19.
- Cullell, J.** (1999) Conseqüències en el color del pernil curat per l'addició de nitrat potàssic i/o nitrit sòdic. Trabajo fin de carrera, Universidad de Girona
- Daeschel, M.A.** (1989) Antimicrobial substances from lactic acid bacteria for use as food preservatives. *Food Technology* 43 (1): 164-167.
- Díaz, I.** (1993). Modificaciones de la composición lipídica durante procesos tecnológicos del jamón curado. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Diaz, O., Fernandez, M., Garcia de Fernando, G.D., de la Hoz, L. y Ordoñez J.A.** (1997) Proteolysis in dry fermented sausages: the effect of selected exogenous proteases. *Meat-Science* 46 (1): 115-128.
- Dirinck, P.; Van Opstaele, F. y Vandendriessche, F.** (1997). Flavour differences between northern and southern european cured hams. *Food Chemistry* 59 (4): 511-521.
- Doßmann, M.U., Klostermaier, P., Vogel, R.F. y Hammes, WP.** (1998). Influence of ecological parameters on the competitiveness of *L. pentosaceus* and *L. sakei*. *Fleischwirtschaft* 78: 905-908.
- Drumm, T.D. y Spanier, A.M.** (1991) Changes in the content of lipid autoxidation and sulfur-containing compounds in cooked beef during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 39 (2): 336-343.
- Durá, M.A., Bolumar, T., Sanz, Y., Flores, M., Aristoy, M.C. y Toldrá F.** (2002) Enzyme activity for the generation and metabolism of free amino acids in *Debaryomyces* spp. Proceedings 48th International Congress of Meat Science and Technology. Rome. 396-397.
- Escher, F.E., Koehler, P.E. y Ayres, J.C.** (1973) Production of ochratoxins A and B on country-cured ham. *Appl. Microb.* 26 (1): 27
- Farmer, L.** (1994). The chemistry of muscle-based foods, Ed. DE Johnston, M.K. Knight & D.A. Ledwards. Royal Society of Chemistry, Cambridge, p169.
- Fennema, (1993) Química de los alimentos Editorial Acribia, Zaragoza Flores, J.** (1997). Mediterranean vs northern European meat products. Processing technologies and main differences. *Food Chemistry* 59 (4): 505-510.
- Finocchiaro, E. T. y Richardson, T.** (1983). Sterol oxides in foods stuffs: a review. *Journal of Food Protection*, 46: 917-925.
- Finocchiaro, E. T., Lee, K. y Richardson, T.** (1984). Identification and quantification of cholesterol oxides in grated cheese and bleached butteroil. *Journal of American Oil Chemists Society*, 61: 877-833.
- Flores, J. y Toldrá, F.** (1993). Curing: Processes and applications. In *Encyclopedia of Food Science, Food Technology & Nutrition*, eds., R. Macrae, R. Robison, M. Sadler & G. Fullerlove. Academic Press. London. 1277-1282.
- Flores, J., Bermell, S., Nieto, P. y Costell, E.** (1984). Cambios químicos en las proteínas del jamón durante los procesos de curado, lento y rápido, y su relación con la calidad. *Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment.* 24 (4): 503-509.
- Flores, J., Bermell, S. y Nieto, P.** (1985a). Evaluación de la calidad de los productos cárnicos. III. Jamón curado. *Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment.* 25 (3): 401-407.
- Flores, J.; Nieto, P.; Bermell, S. y Miralles, M.C.** (1985b). Cambios en los lípidos del jamón durante el proceso de curado, lento y rápido, y su relación con la calidad. *Rev. Esp. Cienc. Tecnol. Aliment.* 25: 117-125.

- Flores, M., Romero, J., Aristoy, M.C., Flores, J. y Toldrá, F.** (1994). Differences in muscle proteolytic activities among pork breed types. *Sci. des Aliment.* 14, 469.
- Flores, M., Aristoy, M.C. y Toldrá, F.** (1996a). Biogenic polyamines affect activity of aminopeptidase from porcine skeletal muscle. *J. Food Sci.* 61, 13-14, 27.
- Flores, M., Alasnier, C., Aristoy, M.C., Navarro, J.L., Gandemer, G. y Toldrá, F.** (1996b). Activity of aminopeptidase and lipolytic enzymes in five skeletal muscles with various oxidative patterns. *J Sci Food Agric* 70: 127-130.
- Flores, M., Aristoy M.C., Spanier A.M., y Toldrà F.** (1997a). Non-volatile components effects on quality of "serrano" dry-cured ham as related to processing time. *Journal of Food Science* 62 (6): 1235-1239.
- Flores, M., Aristoy, M.C. y Toldrá, F.** (1997b). Curing agents affect aminopeptidase activity from porcine skeletal muscle. *Lebnsnm Unters Forsch A* 205: 343-346.
- Flores, M., Grimm, C.C., Toldrà, F. y Spanier, A.M.** (1997c). Correlations of sensory and volatile compounds of spanish "serrano" dry-cured ham as a function of two processing times. *J. Agric. Food Chem.* 45: 2178-2186.
- Flores, M., Ingram, D.A., Bett, K.L., Toldrá, F. y Spanier, A.M.** (1997d). Sensory characteristics of spanish "serrano" dry-cured ham. *Journal of Sensory Studies* 12: 169-179.
- Flores, M., Aristoy, M.C. y Toldrá, F.** (1998). Feedback inhibition of porcine muscle alanyl and arginyl aminopeptidases in cured meat products. *J. Agric. Food Chem.* 46: 4982-4986.
- Forrs, D.A.** (1972). Odor and flavor compounds from lipids. *Prog. Chem. Fast Other Lipids* 13, 181-258.
- Francisco, J.J.; Gutiérrez, L.M.; Menes, I.; García, M.L.; Díez, V. y Moreno, B.** (1981). *Anal. Bromatol.* XXXIII-2: 259-272.
- Frankel, E.N.** (1985). Chemistry of autoxidation: mechanism, products and flavor significance. En *Flavor chemistry of fats and oils*. Ed.: Min, D.B. y Smouse, T.H. American Oil Chemist Society. Champaign, Illinois. 1-37.
- Frasse, P., Lambert, S., Richard, Molard, D. y Chiron, H** (1993) The influence of fermentation on volatile compounds in French bread dough.: *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* 26 (2): 126-132.
- Frey, W.** (1983) Starterkulturen fuer die Rohwurstproduktion. *Fleischerei* 34 (2): 67-70.
- Gandemer, G.** (1998). Lipids and meat quality, lipolysis, oxidation and flavour. 44th. ICoMST, Barcelona: 106-116.
- García, C., Berdagué, J., Antequera, T., López-Bote, C., Córdoba, J.J y Ventanas, J.** (1991) Volatile components of dry-cured iberian ham. *Food Chemistry* 41: 23-32.
- García, A., Soriano, A. y Contreras, C.** (2002). Propiedades de interés tecnológico de la microbiota presente en el jamón curado español: revisión. *Alimentaria*, enero-febrero : 49-52.
- García, A., Núñez, M.D. y Cabezudo, M.D.** (2001) Evaluation of enzymatic activities of microorganisms isolated from Spanish dry-cured hams during the commercial shelf-life. *Sciences des Aliments* 21 (2): 161-176.
- García, R., Bermúdez, E., Sosa, M.J., Asensio, M.A. y Rodríguez M.** (2003). Evaluación toxicológica de cocos gram positivos, catalasa positivos aislados de jamón curado para su utilización como cultivos iniciadores. *Proceeding II Congreso Mundial del Jamón*, Cáceres.
- García-Esteban, M., Ansorena, D., Gimeno, O. y Astiasarán, I.** (2003). Optimization of instrumental colour analysis in dry-cured ham. *Meat Science* 63: 287-292.
- García-Garrido, J.A., Quiles Zafra, R., Tapiador, J. y Luque de Castro, M.D.** (1999). Sensory and analytical properties of spanish dry-cured ham of normal and defective texture. *Analytical, Nutritional and Clinical Methods Section. Food Chemistry* 67: 423-427. 3

Bibliografía

- García-Garrido, J.A., Quiles Zafra, R., Tapiador, J. y Luque de Castro, M.D.** (2002). Cálculo de valores de referencia para las actividades catepsinaB, B+L, H y D, índice de proteólisis y % NaCl: su utilidad en la predicción de texturas anómalas en jamón serrano. *Eurocarne* 103: 195-208. 1
- García-Regueiro, J.A. y Maraschiello, C.** (1997) Procedure for the determination of eight cholesterol oxides in poultry meat using on-column and solvent venting capillary gas chromatography. *Journal of Chromatography A*, 764: 279-293.
- García-Varona, M., Santos, E.M., Jaime, I. y Rovira-J** (2000) Characterisation of *Micrococcaceae* isolated from different varieties of chorizo. *International Journal of Food Microbiology* 54 (3): 189-195.
- Garriga, M., Hugas, M., Aymerich, T. y Monfort J.M.** (1993) Bacteriocinogenic activity of lactobacilli from fermented sausages. *Journal of Applied Bacteriology* 75 (2): 142-148
- Garriga, M., Ehrmann, M.A. Arnau, J., Hugas, M. y Vogel, R.F.** (1998). *Carnimonas nigrificans* gen. nov., spec. Nov. A bacterial causative agent for black spots formation on cured meat products. *International Journal of Systematic Bacteriology*.
- Garriga, M., Aymerich, T., Monfort, J.M. y Hugas, M.** (2002). High hydrostatic pressure treatment for the assessment of quality in sliced skin-packaged cooked and cured hams. Poster en el XIII Congreso de Microbiología de los Alimentos, Bilbao Septiembre 2002.
- Gatellier, P. Anton, M. y Renerre, M.** (1995). Lipid peroxidation induced by H₂O₂-activated metmyoglobin and detection of a myoglobin-derived radical. *J. Agric. Food Chem.* 43, 651-656.
- Gehlen, K.H., Meisel, C., Fischer, A. y Hammes, W.P.** (1991) Influence of the yeast *Debaryomyces hansenii* on dry sausage fermentation. *Proceeding 37th ICoMST*, Kulmbach: 871-876.
- Geisen, R., Lücke, F.K. y Kröckel, L.** (1992). Starter and protective cultures for meat and meat products. *Fleischwirtsch.* 72 (6): 894-898.
- Gelabert, J.** (2000) Disminución del contenido de sodio en los productos cárnicos crudos curados. Tesis Doctoral. Universidad de Girona
- Giam, I y Dugan, L.R.** (1965) The fatty acid composition of free and bound lipids in freeze and dried meat. *J. Food Sci.* 30: 262.
- Gil, M., Guerrero, L. y Sárraga, C.** (1999). The effect of meat quality, salt and ageing time on biochemical parameters of dry-cured *Longissimus dorsi muscle*. *Meat Sci.* 51 (4):329-337.
- Giolitti, G.; Cantoni, C.A.; Bianchi, M. y Renon, P.** (1971). Microbiology and chemical changes in raw hams of italian type. *J. Appl. Bacteriol.* 34 (1): 51-61
- González, J.** (1998). Importancia del jamón curado a lo largo de la historia. En: *El Jamón curado: Tecnología y análisis de consumo*. Simposio Especial- 44th ICoMST. Editado por I.R.T.A y Eurocarne. Autor: Arnau, J. y Monfort, J.M.: 71-86.
- Gou, P.** (1998). Dinámica del secado del jamón curado. En: *El Jamón curado: Tecnología y análisis de consumo*. Simposio Especial- 44th ICoMST. Editado por I.R.T.A y Eurocarne. Autor: Arnau, J. y Monfort, J.M.: 89-106.
- Gou, P., Guerrero, L. y Arnau, J.** (1995) Sex and crossbreed effects on the characteristics of dry-cured ham. *Meat Science*; 40 (1): 21-31.
- Gou, P., Arnau, J. y Guàrdia, M.D.** (2000). Efecto del tipo de pulido (con corteza o corte en "V") en algunas características sensoriales del jamón curado. En *II Symposium Internacional del Jamón Curado*. Editado por I.R.T.A y Eurocarne. Autor: Monfort, J.M.: 100-101.
- Gou, P., Comaposada, J. y Arnau, J.** (2003). NaCl content and temperature effects on moisture diffusivity in the *Gluteus medius* muscle of porc ham. *Meat Science* 63: 29-34.

- Gray, J. I. y Pearson, A.M.** (1987). Rancidity and warmed-over flavor. En *Advances in Meat Research*. Pearson, A.M. and Dutson, T.R., Eds., Vol:3 Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Grazia L., Romano P., Bagni A., Roggiani D. y Guglielmi, G.** (1986) The role of moulds in the ripening process of salami. *Food Microbiology*; 3 (1): 19-25
- Grupa, U.** (1998) Maturation of cured ham and raw sausage in modified atmosphere as process innovation. Gas atmosphere as an important factor in the maturing processes. *Fleischwirtschaft* 78 (11): 1168-1170, 1182.
- Guardia, MD., Guerrero, L., Gou, P., Monfort, J.M. y Arnau, J.** (1999). Efecto del tiempo de maduración sobre las características sensoriales del jamón curado, sobre su aceptabilidad y su preferencia. *Sensiber 99*. México DF.
- Guerrero, L. y Arnau, J.** (1995). Dry cured hams. Chemical methods to control mites. *Fleischwirtsch* 75 (4): 449-450.
- Guerrero, L., Gou, P., Alonso, P. y Arnau, J.** (1996). Study of the physicochemical and sensorial characteristics of dry-cured hams in three pig genetic types. *J Sci Agric* 70: 526-530.
- Guerrero, L., Guàrdia, M.D. y Arnau, J.** (1998). El análisis sensorial en jamón curado. *Eurocarne* 67.
- Guerrero, L., Gou, P. y Arnau, J.** (1999). The influence of meat pH on mechanical and sensory textural properties of dry-cured ham. *Meat Science* 52: 267-273.
- Guerrero, L., Gelabert, J., Gou, P., Guàrdia, M.D. y Arnau, J.** (2000a). Efecto de la disminución del contenido en sodio del jamón curado sobre sus propiedades sensoriales y reológicas. En *II Symposium Internacional del Jamón Curado*. Editado por I.R.T.A y Eurocarne. Autor: Monfort, J.M.: 94-95.
- Guerrero, L., Guàrdia, M.D. y Arnau, J.** (2000b). Análisis sensorial en carnes. En: *Análisis sensorial de productos alimentarios. Metodología y aplicación al mercado español*. Editado por Subsecretaría, Dirección General de Alimentación, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Coordinadores: Briz-Escribano, J. y García-Faure, R.
- Hahn-Haegerdal, B.** (1985) Water activity: a possible external regulator in biotechnical processes. *Enzyme and Microbial Technology* 8 (6): 322-327.
- Halls, N.A. y Ayres, J. C.** (1973) Potential production of Sterigmatocystin on country-cured ham. *Appl. Microb.* 26 (4): 636-637.
- Hammes, W. P.** (1995) En 2. *Stuttgarter Rohwurstforum*. Buckenhüskes, p. 29. Gewürzmüller, Stuttgart, Alemania.
- Hammes, W.P. y Knauf, H.J.** (1993) Starters in the processing of meat products. *Meat Science* 36: 155-168.
- Hammes, W.P. y Hertel, C.** (1998) New developments in meat starter cultures. *Meat Science* 49 (1):125-S138.
- Hammes, W. P., Rölz, I. y Min, S.** (1990) Lactic acid bacteria in meat fermentation. *FEMS Microbiol. Rev.*, 87: 165-174.
- Hansen-Möller, J., Hinrichsen, L. y Jacobsen, T.** (1997). Evaluation of peptides generated in italian-style dry-cured ham during processing. *J. Agric. Food Chem.* 45: 3123-3128. 7
- Harper, R.** (1983). *Sensory Quality Control*. En *Control of food quality and food analysis*. Ed. G.G. Birch and K.J. Parker. Elsevier applied Science, XI: 182-183.
- Hernández, E. y Huerta, T.** (1993). Evolución de los parámetros microbiológicos del jamón curado. *Microbiología SEM* 9: 10-19.
- Hinrichsen, L.L. y Andersen, H.J.** (1994). Volatile compounds and chemical changes in cured pork: role of three halotolerant bacteria. *J. Agric. Food Chem.* 42: 1537-1542.

Bibliografía

- Hinrichsen, L.L. y Pedersen, S.B.** (1995). Relationship among flavor, volatile compounds, chemical changes, and microflora in italian-type dry-cured ham during processing. *J. Agric. Food Chem.* 43: 2932-2940.
- Hodge, J.E.** (1953). Dehydrated foods: chemistry of browning reactions in model system. *J. Agric. Food Chem.* 1: 928-943.
- Hoffman, G.** (1985) Mycotoxinbildende Schimmelpilze bei Rohwurst und Rohschinken. En: *Mikrobiologie und Qualität von Rohwurst und Rohschinken*. Institut für Mikrobiologie, Toxikologie und Histologie der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach
- Hortòs, M.** (1995). Influencia de la maduración y condiciones del proceso tecnológico en los cambios de las fracciones nitrogenadas del jamón curado. Tesis Doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Huerta, T.** (1986) Aspectos físico-químicos y microbiológicos del jamón curado por vía seca. Tesis doctoral. Universidad de Valencia.
- Huerta, T.; Sanchís, V.; Hernández, J. y Hernández, E.** (1987). Mycoflora of dry-salted spanish ham. *Microb. Alim. Nutr.* 5 (3): 247-252.
- Huerta, T.; Querol, A. y Hernández-Haba, J.** (1988). Yeast of dry-cured hams: quantitative and qualitative aspects. *Microbiol. Alim. Nutr.* 6 (3): 227-231
- Hugas, M. y Arnau, J.** (1987a). Defectos en el jamón curado. Capítulo VII: Aparición de manchas de color marrón en la corteza y grasa del jamón durante el post-salado. En *El jamón curado: aspectos tecnológicos*. J. Arnau, M. Hugas, J.M. Monfort (Ed.). Institut de Recerca i Tecnologies Agroalimentàries. Girona.
- Hugas, M. y Arnau, J.** (1987b). Defectos en el jamón curado. Capítulo VIII: Jamón con coquera. En *El jamón curado: aspectos tecnológicos*. J. Arnau, M. Hugas, J.M. Monfort (Ed.). Institut de Recerca i Tecnologies Agroalimentàries. Girona.
- Hugas, M. y Garriga, M.** (1987). El envasado del jamón curado. Capítulo II. Evolución de los parámetros microbiológicos en jamón curado deshuesado y envasado al vacío. En *El jamón curado: aspectos tecnológicos*. J. Arnau, M. Hugas, J.M. Monfort (Ed.). Institut de Recerca i Tecnologies Agroalimentàries. Girona.
- Hugas, M. y Monfort, J.M.** (1997). Bacterial starter cultures for meat fermentation. *Food Chemistry* 59 (4): 547-554).
- Hugas, M.; Arnau, J. y 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 microbioana y en los parámetros físico-químicos. En *El jamón curado: aspectos tecnológicos*. J. Arnau, M. Hugas, J.M. Monfort (Ed.). Institut de Recerca i Tecnologies Agroalimentàries. Girona.
- Ingold, K.U.** (1962). In *Symposium on Foods: Lipids and Their Oxidation*, de. H.W. Schultz, E.A. Day and R. O. Sinnhuber. AVI Publishing Co., Westport, CT, p.93.
- Jessen, B.** (1995) Starter cultures for meat fermentations. En *Fermented meats*. Campbell-Platt y Cook, P.E. (eds) pp 130-159. Academic and Professional, Glasgow.
- Jóciles, A.; Herrero, H. y Larriba, G.** (1983). Evolución de la flora microbiana durante la maduración del jamón ibérico. En: *IX Cong. Nac. Microbiol.* Valladolid.: 469, 997-998
- Johansson, G. y Borch, E.** (1993) Effects of environmental factors on lipolytic and proteolytic activities of starter cultures in meat-fat mixtures. *Proc. 39th Int. Congr. Meat Science Technol.* Calgary, Canadá.
- Johansson, G., Berdagué, J.L., Larsson, L., Tran, N. y Borch, E.** (1994). Lipolysis, proteolysis and formation of volatile components during ripening of a fermented sausage with *Pediococcus pentosaceus* and *Staphylococcus xylosus* as starter cultures. *Meat Sci.* 38 (2): 203-218.
- Johansson, G., Larsson, M. y Borch E.** (1995) citado en Stahnke, 1995

- Jorrín, J.**, (2001). Modelos de lucha frente a los ácaros en el jamón curado. *Eurocarne* 100: 69-74.
- Jorrín, J., Magallanes, M. y Vargas, P.** (2001). Etiología de la peste por ácaros en el jamón curado. *Eurocarne* 99: 39-44.
- Journal of Agricultural and Food Chemistry** 39 (6): 1017-1021.
- Kanner, J, Harel, S. y Jaffe, R.** (1991) Lipid peroxidation of muscle food as affected by NaCl.
- Kemp, J.D., Langlois, B.E., Akers, K., Means, W.J. y Aaron, D.K.** (1988). Effect of storage temperature and time on the quality of vacuum packaged dry-cured ham slices. *Journal of Food Science* 53 (2): 402-406.
- Kitchell, A.G. y Shaw, B. G.** (1975) Lactic acid bacteria in fresh and cured meat. Symposium AIA: United Kingdom, Long Ashton Research Station: 209-220.
- Kloos, W.E. y Schleifer, K.H.** (1986) *Staphylococcus*. En *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, Vol. 2: 1013-1035 Editado por P.H.P. Sneath, N.S. Mair, M.E. Sharpe y J.G. Holt. Williams & Wilkins, Baltimore, Londres, Los Angeles, Sydney.
- Kocur, M.** (1986) *Micrococcus*. En *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, Vol. 2: 1004-1008. Editado por P.H.P. Sneath, N.S. Mair, M.E. Sharpe y J.G. Holt. Williams & Wilkins, Baltimore, Londres, Los Angeles, Sydney.
- Landbo, A.K. y Meyer, A.S.** (2001) Ascorbic acid improves the antioxidant activity of European grape juices by improving the juices' ability to inhibit lipid peroxidation of human LDL in vitro. *International Journal of Food Science & Technology* 36 (7): 727-735.
- Langlois, B.E. y Kemp, J.D.** (1974). Microflora of fresh and dry-cured hams as affected by fresh ham storage. *J. Anim. Sci.* 38 (3): 525-531.
- Lawrie, R.A.** (1991). *Meat Science*. Pergamon Press.
- Lee, S.K. y Song, K.W.** (1987). Effects of mixed culture (*p. pentosaceus* + *m. viogabriella*) on the quality of country-style hams. *Korean J. Anim. Sci.* 29 (3): 136-141.
- Leistner, L.** (1984) Toxicogenic penicillia occurring in feeds and foods: a review. *Food Technol. Aust.*, 36 (9): 404-406, 413.
- Leistner, L.** (1985). Allgemeines über Rohwurst und Rohschinken. In: *Mikrobiologie und Qualität von Rohwurst und Rohschinken. Bundesanstalt für Fleischforschung*. Kulmbach. 90: 6606-6611.
- Leistner, L. y Eckardt, C.** (1981) Schimmelpilze und Mykotoxine in Fleisch und Fleischerzeugnissen. En 'Mykotoxine in Lebensmitteln'. Editado por J. Reiss: 297-341.
- Leistner, L., Rödel, W.Y. y Krispien, K.** (1981). Microbiology of meat products in high and intermediate moisture ranges. In L.B. Rockland y G.F. Stewart, *Water activity: Influences on Food Quality* (pp. 855-916). New York: Academic Press.
- Leistner, L., Lücke, F.K., Hechelmann, H., Albertz, R., Hübner, I. y Dresel, J.** (1983). Verbot der nitratpökellung bei rohschinken. Institut für Mikrobiologie, Toxikologie und Histologie der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach, Germany: 95-98.
- Léon Crespo, F., Montero Pérez Barquero, E., Beltrán de Heredia, F., Penedo Padrón, J.C., López Iscar, A., Mata Moreno, C. y Barranco Sánchez, A.** (1983). Perfiles sensoriales descriptivos del jamón serrano comercial. *Alimentaria* 147: 39-46.
- Léon Crespo, F., Martins, C., Mata Moreno, C., Penedo Padrón, J.C., Montero Pérez-Barquero, E., Barranco Sánchez, A., López Escar, A. y Beltrán de Heredia, F.** (1984). Evaluación sensorial de ocho regiones en el jamón serrano. *Alimentaria* 157 (6): 31-35.
- Liepe, H. U.** (1987) Manufacture of air-dried raw sausage with mould culture. *Fleischerei* 38: 546-547
- Liepe, H.U. y Porobic, R.** (1984). Untersuchungen zur schinkenpökellung. *Fleischwirtsch.* 64 (11): 1296-1310.
- Lillard, D. A.** (1987) Oxidative deterioration in meat, poultry and fish. En: *Warmed-over flavor*

Bibliografía

- of meat. Ed. A.J. St. Angelo y M. E. Bailey. Academic Press, Inc. Orlando
- Lillard, D.A. y Ayres, J.C.** (1969). Flavor compounds in country cured hams. *Food Technology* 23 (2): 117-120.
- List, D. y Klettner P.G.** (1978) Die Milchsäurebildung im Verlauf der Rohwurstreifung bei Starterkulturzusatz. *Fleischwirtschaft* 58 (1): 136-139.
- Lorenzo, P. y Flores, J.** (1988) Ácaros del jamón curado. *Die Fleischerei* 9: III-IV.
- Lorenzo, P. y Catalá, F.,** (1989). Ácaros del jamón curado: métodos de prevención y lucha. *Actas de las Jornadas Técnicas "Avances en la Tecnología del Jamón Curado"*. Valencia: 87-98.
- Loreto, V. , Ottoboni, F. y Cantoni, C.** (1985) Acarofauna del prosciutto crudo stagionato. *Industria-Alimentari* 12: 1011-1019.
- Luchanski J.B. y Doyle, M.P.** (1991) Behavior and control of *Listeria monocytogenes* in meats (1991). *Proceedings of the International Conference on Listeria and food Safety, Laval Francia* (13-14 junio). Editado por Association sur l'Asepsie de Production, Laval, Francia
- Lücke, F.K.** (1986). Microbiological processes in the manufacture of dry sausage and raw hams. *Fleischwirtsch.* 66 (10): 1505-1509.
- Lücke, F.K. y Hechelman, H.** (1987). Starter cultures for dry sausages and raw ham: composition and effect. *Fleischwirtsch.* 67 (3): 307-314.
- Lundberg, W.O.** (1962). En *Symposium of foods: Lipids and their oxidation*. Editado por W.H. Schultz, E.A. Day y R.O. Sinnhuber: 31 AVI publishing Co. Inc. Westport.
- Magan, N. y Lacey, J.** (1984) Effects of gas composition and water activity on growth of field and storage fungi and their interactions. *Transactions of the British Mycological Society* 82 (2): 305-314
- Maijala, R. Eerola, S., Lievonen, S., Hill, P. y Hirvi, T.** (1995a) Formation of biogenic amines during ripening of dry sausages as affected by starter culture and thawing time of raw materials. *Journal of Food Science*; 60 (6) 1187-1190.
- Maijala, R., Nurmi, E. y Fischer, A.** (1995b) Influence of processing temperature on the formation of biogenic amines in dry sausages. *Meat Science*; 39 (1) 9-22.
- Malmberg, P.; Rask-Andersen, A.; Rosenhall, L.** (1993) Exposure to microorganisms associated with allergic alveolitis and febrile reactions to mold dust in farmers. *Chest* 103 (4): 1202-1209.
- Maraschiello, C.** (1998) Cholesterol oxidation and parameters related to lipid oxidation in raw and cooked meat from broilers fed dietary oils and fat, natural antioxidants and prooxidants. Tesis Doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona
- Marín Riaño, M.E.; de la Rosa, M.C.; Carrascosa, A.V. y Cornejo, I.** (1992). Microbiological and physico-chemical aspects of spoiled dry-cured spanish hams. *Fleischwirtsch.* 72 (11): 1553-1557.
- Marín Riaño, M.E.; Carrascosa, A.V. y Cornejo, I.** (1993). Micropoblación saprófita y patógena en la elaboración del jamón serrano. *Alimentaria* 240 (3): 31-36.
- Marriot, N.G., Phelps, S.K., Graham, P.P. y Shaffer, C.K.** (1987a). Effect of inoculation on the quality of dry-cured hams. *Journal of Food Quality* 10: 351-358.
- Marriott, N.G., Graham, P.P., Shaffer, C.K. y Phelps, S.K.** (1987b). Accelerated production of dry cured hams. *Meat Science* 19: 53-64.
- Martín L.** (1996) Influencia de las condiciones del procesado sobre los cambios madurativos en el jamón ibérico. Tesis doctoral. Universidad de Extremadura.
- Martín, L., Antequera, T., Ruiz, R. Cava, Tejada, J.F. y Córdoba, J.J.** (1998a). Influencia de las condiciones de elaboración sobre la proteólisis durante la maduración del jamón ibérico. *Food Science and Technology Internacional* 4: 17-22.
- Martín, L., Córdoba, J.J., Antequera, T., Timón, M.L. y Ventanas, J.** (1998b). Effects of salt and temperature on proteolysis during ripening of Iberian ham. *Meat Science* 49 (2): 145-153.

- Martín, A., Ruiz, J., Núñez, F. Córdoba, J.J. y Asensio, M.A.** (2000). Contribución de la población microbiana a la seguridad y calidad del jamón curado. En II Symposium Internacional del Jamón Curado. Editado por I.R.T.A y Eurocarne. Autor: Monfort, J.M.: 55-64.
- Martín, A., Asensio, M.A., Bermúdez, M.E., Córdoba, M.G., Aranda, E. y Córdoba, J.J.** (2002). Proteolytic activity of *Penicillium chrysogenum* and *Debaryomyces hansenii* during controlled ripening of pork loins. *Meat Science* 62: 129- 137.
- Masson, F., Eclache, L., Compte, T., Talon, R. y Montel, M.C.** (1996) What produces biogenic amines in meat products? *Viandes et Produits Carnes*17 (6): 287-289
- Mastrocola, D., Munari, M., Cioroi, M. y Lerici, C.R.** (2000). Interaction between Maillard reaction products and lipid oxidation in starch-based model systems. *J Sci Food Agric* 80: 684-690.
- McDonald, J.K. y Barret, A.J.** (1986). Mammalian proteases. Vol. 2, Exopeptidases, Academic Press, London.
- Meilgaard, M., Civille, G.V. y Car, B.I.** (1990) En *Sensory evaluation techniques*. CRC Press, Florida.
- Meynier, A., Novelli, E., Chizzolini, R., Zanardi E. y Gandemer, G.** (1999) Volatile compounds of commercial Milano salami. *Meat Science* 51 (2): 175-183.
- Migaud, M. y Frentz, J. C.** (1978) *La Charcuterie Crue*. Soussana SA, Paris, Francia
- Mikami, M., Sekikawa, M. y Shimada, K.** (1998). Dry fermented sausages inoculated with *Debaryomyces Hansenii*. *Proc. 44th Int. Congr. Meat Science Technol.* Barcelona: 824-825.
- Min, D.B.S., Ina, K., Peterson, R.J. y Chang, S.S.** (1979). Preliminary identification of volatile flavor compounds in the neutral fraction on roast beef. *J. Food Sci.* 44, 639-644.
- Miranda, Y., Ordóñez, M., Jaime, I. y Rovira, J.** (1998). Relationship between microbial population and physico-chemical parameters in bone tainted dry-cured hams. *Proceedings 44th. International Congress of Meat Science and Technology.* Barcelona.
- Molina, I.; Silla, H.; Flores, J. y Monzo, J.L.** (1989a). Study of the microbial flora in dry-cured ham. II. *Micrococcaceae*. *Fleischwirtsch.* 69 (9): 1433-1434.
- Molina I.; Silla, H. y Flores, J.** (1989b). Study of the microbial flora in dry-cured ham.III. Lactic acid bacteria. *Fleischwirtsch* 69 (11): 1708-1710.
- Molina I.; Silla, H. y Flores, J.** (1990). Study of the microbial flora in dry-cured ham. IV. Yeasts. *Fleischwirtsch.* 70 (1): 74-76.
- Molina, I.; Nieto, P.; Flores, J.; Silla, H. y Bermell, S.** (1991). Study of the microbial flora in dry-cured ham. 5. Lipolytic activity. *Fleischwirtsch.* 71 (8): 906-908.
- Molina, I. y Toldrá, F.** (1992). Detection of proteolytic activity in microorganisms isolated from dry-cured ham. *J. Food Sci.* 57 (6): 1308-1310.
- Moller J.K.S., Hinrichsen L.L. y Andersen, H.J.** (1998) Formation of amino acid (L-leucine, L-phenylalanine) derived volatile flavour compounds by *Moraxella phenylpyruvica* and *Staphylococcus xylosus* in cured meat model systems. *International Journal of Food Microbiology* 42 (1/2): 101-117
- Molly, K., Demeyer, D., Johansson, G., Raemaekers, M., Ghistelinck, M., Geenen, I.** (1997) The importance of meat enzymes in ripening and flavour generation in dry fermented sausages. First results of a European project. *Food Chemistry*; 59 (4): 539-545.
- Monin, G., Marinova, P., Talmant, A., Martín, J.F., Cornet, M, Lanore, D. y Grasso, F.** (1997) Chemical and structural changes in dry-cured hams (Bayonne hams) during processing and effects of the dehairing technique. *Meat-Science*; 47 (1/2): 29-47.
- Monte. E.; Villanueva, J.R.; y Dominguez, A.** (1986). Fungal profiles of Spanish country-cured hams. *Int. J. Food Microb.* 3 (6): 355-359.

Bibliografía

- Montel, M.C., Reitz, J., Talon, R., Berdagué, J.L. y Rousset-Akrim, S.** (1996). Biochemical activities of Micrococcaceae and their effects on the aromatic profiles and odours of a dry sausage model. *Food Microbiology* 13: 489-499.
- Montel, M.C., Larrouture, C., and Masson, F.,** (1997) Incidence des bactéries lactiques sur la flaveur des produits carnés fermentés. Acte du Colloque Lactique 97, ADRIA Normandie et TNO, Université de Caen, France, 197-211.
- Montel, M.C., Masson, F. y Talon, R.** (1998). Bacterial role in flavour development. *Meat Science* 49, Suppl.1: S111-S123.
- Moskowitz, H.R. y Jacobs, B.E.** (1987) Consumer evaluation and optimization of food texture. En *Food Texture*, editado por H.R. Moskowitz. Marcel Dekker, Inc. New York pp 335.
- Motilva, M.J. y Toldrá, F.** (1992). Effect of curing agents and process parameters on pork muscle lipolytic activity. *Z. LebensUnters. Forsch.*, 196, 228.
- Motilva, M^a. J., Díaz Borrás, M^a. A. y Vila Aguilar, R.** (1991). Fungal flora present on the surface of cured spanish ham. *Fleischwirtsch* 71 (11): 1300-1302.
- Motilva, M.J., Rico, E. y Toldrá, F.** (1993). Effect of redox potential on the muscle enzyme system. *J. Food. Biochem.*, 16, 207.
- Moya, V.J., Flores, M., Aristoy, M.C. y Toldra, F.** (2001) Pork meat quality affects peptide and amino acid profiles during the ageing process. *Meat Science* 58 (2): 197-206.
- Namiki, M.** (1988) Chemistry of Maillard reactions: recent studies on the browning reaction mechanism and the development of antioxidants and mutagens. *Advances in Food Research* 32: 115-184.
- Ng, W. F., Langlois, B.E. y Moody W.G.** (1997). Fate of selected pathogens in vacuum-packaged dry-cured (Country-style) ham slices stored at 2 and 25° C. *Journal of Food Protection* 60 (12): 1541-1547.
- Nieto, P.; Molina, I.; Flores, J.; Silla, H. y Bermell, S.** (1989). Lipolytic activity of microorganisms isolated from dry-cured ham. En : 35th ICoMST, Copenhagen Vol II n° 35: 323-329.
- Nishimura-T; Kato-H** (1988) Taste of free amino acids and peptides. *Food Reviews International* 4 (2): 175-194.
- Nourooz-Zadeh, J.y Appelquist, L.A.** (1987). Cholesterol oxides in swedish foods and food ingredients. *Journal of Food Science*, 52: 57-62.
- Núñez, F., Rodríguez, M.M., Córdoba, J.J., Bermúdez, M.E. y Asensio, M.A.** (1996a). Yeast population during ripening of dry-cured iberian ham. *International Journal of Food Microbiology* 29: 271-280.
- Núñez,F., Rodríguez, M.M., Bermúdez, M.E., Córdoba, J.J. y Asensio, M.A.** (1996b). Composition and toxigenic potential of the mould population on dry-cured iberian ham. *International Journal of Food Microbiology* 32: 185-197.
- Núñez, F., Rodríguez, M.M., Martín, A., Córdoba, J.J., Bermúdez, E. y Asensio, M.A.** (1998). Selección de cultivos iniciadores para jamón curado y ventajas de su aplicación. En *El jamón curado: Tecnología y análisis de consumo*. Simposio especial-44th ICoMST. Barcelona, 1 de Septiembre de 1998. Arnau, J. y Montfort, J.M (eds). *Estrategias Alimentarias*, S. L.-Eurocarne, pp 58-68.
- Núñez,F., Díaz, M.C., Rodríguez, M., Aranda, E., Martín, A. y Asensio, M.** (2000). Effects of substrate, water activity, and temperature on growth and verrucosidin production by *penicillium polonicum* isolated from dry-cured ham. *Journal of Food Protection* 63 (2): 231-236.
- Núñez, F., Sosa, M^aJ., Rodríguez, M. y Bermúdez, E.** (2003). Mohos toxigénicos en jamón curado. Problemática y prevención. *Proceeding II Congreso Mundial del Jamón, Cáceres 2003*. .
- O'brien, J. y Morrissey, P. A.** (1989) The Maillard reaction in milk products. *International Dairy Federation Bulletin* 238: 53-61.

- Ockerman, H.W.** (1974). Quality control of *post-mortem* tissue , 9ª ed. Ohio State Univ. Press.
- Ockerman, H.W., Blumer, T.N. y Craig, H.B.** (1964). Volatile chemical compounds in dry cured ham. *J. Sci. Food. Agric*, 29:123.
- Okitani, A., Nishimura, T. y Kato, H.** (1981). Characterization of hidrolase H, a new muscle protease possessing aminoendopeptidase activity. *Eur. J. Biochem.*, 115, 269.
- Olesen, P. T. y Stannke, L. H.** (2000). The influence of *debaryomyces hansenii* and *candida utilis* on the aroma formations in garlic spiced fermented sausages and model minces. *Meat Science* 56: 357-368.
- Oliver, M.A., Gou, P., Gispert, M., Diestre, A., Arnau, J., Noguera, J.L. y Blasco, A.** (1994). Comparison of five types of pig crosses. II. fresh meat quality and sensory characteristics of dry cured ham. *Livestock Production Science* 40: 179-185.
- Ooraikul., B.** (1991) Modified atmosphere packaging of bakery products. En: Modified atmosphere packaging of food, editado por Ooraikul, B. y Stiles, M.E. Ellis Horwood. pp 49-117
- Paarup, T., Nieto, J.C., Peláez, C.** (1999) Microbiological and physico-chemical characterisation of deep spoilage in Spanish dry-cured hams and characterisation of isolated Enterobacteriaceae with regard to salt and temperature tolerance. *Eur Food Res Technol.* 209: 366-371.
- Palmas, F. y Meloni, V.** (1997) Fungi as an occupational health hazard in seasoned-food-industry workers. *Environmental Monitoring and Assessment* 48 (3): 273-284.
- Palmia, F., Zanardi, S., Bovis, N., Pedrelli, T. and Dellapina, G.** (1995) Shelf-life of sliced Parma ham packed under protective atmosphere. *Industria Conserve* 70 (2): 97-109.
- Paniangvait, P., King, A.J., Jones, A.D. y German, B.G.** (1995). Cholesterol oxides in foods of animal origin. *Journal of Food Science*, 52: 29-40.
- Pardo, J.E., Perez, J.I., Parra, V., Legorburo, A. y Argudo, M.** (1997) Aplicación del sistema de análisis de Riesgos y Control de Puntos Críticos (ARICPC) en Frimancha Industrias Cárnicas, S.A. III. Procesado de jamones curados. *Alimentaria* 288, 63-80.
- Park, S.W. y Addis, P.B.** (1986). Identification and quantitative estimation of oxidized cholesterol derivatives in heated tallow. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 34: 653-659.
- Parolari, G.** (1994). Taste quality of italian raw ham in a free-choice profile study. *Food Quality and Preference* 5: 129-133.
- Parolari, G.** (1996). Review: Achievements, needs and perspectives in dry-cured ham technology: the example of Parma ham. *Food Science and Technology International* 2: 69-78.
- Parolari, G, Rivaldi, P., Leonelli, C., Bellati, M. y Bovis N.** (1988). Colore e consistenza del prosciutto crudo in rapporto alla materia prima e alla técnica di stagionatura. *Industria Conserve.* 63: 45-49.
- Parolari, G.; Virgili, R. y Schivazappa, C.** (1994). Relationship between cathepsin B activity and compositional parameters in dry-cured hams of normal and defective texture. *Meat Sci.* 38 (1): 117-122. 17
- Parreño, M., Cussó, R., Gil, M. y Sárraga, C.** (1994). Development of cathepsin B, L and H activities and cystatin-like activity during two different manufacturing processes for spanish dry-cured ham. *Food Chemistry* 49: 15-21.
- Patterson, R.S.L.** (1968) 5- α -Androst-16-en-3-one compound responsible for taint in boar fat. *Journal of Science and Agriculture* 19
- Pearson, A.M., Love, J.D. y Shorland, F.B.** (1977) Warmed-over flavor in meat, poultry and fish. *Advances in Food Research*; 23, 1-7.
- Peng, S.K. y Taylor, C.B.** (1984). Cholesterol autoxidation, health and arteriosclerosis. *World Reviews in Nutrition and Diet* , 44: 117-154.

Bibliografía

- Pérez-Alvarez, J.A., Fernández-López, J., Gago-Gago, M.A., Ruíz-Peluffo, C.; Rosmini, M., Pagán-Moreno, M.J., López-Santoveña, F. y Aranda-Català, V. (1997).** Journal of Muscle Foods 8: 315-327.
- Pérez-Álvarez, J.A., Sayas-Barberá, M.E, Fernández-López, J., Gago-Gago, M.A., Pagán-Moreno, M.J. y Aranda-Català, V. (1998).** Spanish dry-cured ham aging process: colour characteristics. Proceedings 44th. International Congress of Meat Science and Technology. Barcelona.
- Poma, J.P. (1980).** Etudes de quelques facteurs influençant la fabrication du jambon sec. Viandes et Produits Carnes 1 (5), 35-41.
- Poma, J.P. (1987).** Prevention du poissage des jambons secs en cours de fabrication. Viandes et Produits Carnes 8 (3): 109-111
- Presidencia del Gobierno (1967)** Decreto núm. 2484/1967. Ref. 3.10.21. En Código Alimentario Español (1967). Capítulo X. Carnes curadas.
- Presidencia del Gobierno. (1979).** Métodos de análisis de productos cárnicos. BOE 207: 20233-20240.
- Reynolds, A. E. Harrison, M. A., Rose-Morrow, y Lyon, C.E. (2001)** Validation of dry cured ham process for control of pathogens. Journal of Food Science 66 (9): 1373-1379.
- Rheinbaben, K. y Seipp, H. (1986)** Untersuchungen zur Mikroflora roher, stueckiger Poekelfleischerzeugnisse unter besonderer Beruecksichtigung der Familie Micrococcaceae. Chemie Mikrobiologie Technologieder Lebensmittel 9 (5/6): 152-161.
- Rico, E., Toldra, F. y Flores, J. (1990)** Activity of cathepsin D as affected by chemical and physical dry-curing parameters. Zeitschrift fuer Lebensmittel Untersuchung und Forschung 191 (1): 20-23.
- Roca, M., Herrera, H., Andújar, G., Santos, R. y Frometa, Z. (1989).** Salt uptake by hams during dry curing. 35th ICoMST, Copenhagen Vol III nº 35: 725-729.
- Rödel, W.; Stiebing, A. y Wagner, H. (1990).** A new method of determining water activity in meat products. Fleischwirtsch 70 (8): 905-907.
- Rodríguez, M., Núñez, F., Córdoba, J.J., Sanabria, C., Bermúdez, E. y Asensio, M.A. (1994).** Characterization of *Staphylococcus* spp. and *Micrococcus* spp. Isolated from Iberian ham throughout the ripening process. International Journal of Food Microbiology 24: 329-335.
- Rodríguez, E., Aristoy, M.C. y Toldrá, F. (1995).** Peptide generation in the processing of dry-cured ham. Food Chem. 53 (2): 187-190.
- Rodríguez, M., Núñez, F., Córdoba, J.J., Bermúdez, E. y Asensio, M.A. (1996).** Gram-positive, catalase-positive cocci from dry cured iberian ham and their enterotoxigenic potential. Applied and Environmental microbiology 62 (6): 1897-1902.
- Rodríguez, M., Núñez, F., Córdoba, J.J., Bermúdez, M.E. y Asensio, M.A. (1998).** Evaluation of proteolytic activity of micro-organisms isolated from dry cured ham. Journal of Applied Microbiology 85: 905-912.
- Rodríguez-López, A., Pérez-Alvarez, J.A, Sayas-Barbera, M.E., Pagan-Moreno, M.J., Gago-Gago, M.A. y Aranda-Català, V. (1992).** Colour and colour stability of dry-cured ham. 38th ICoMST Clermont-Ferrand, France: 583-586.
- Rojas, F. J.; Jodral, M.; Gosalvez, F y Pozo, R. (1991)** “Mycroflora and toxigenic *Aspergillus flavus* in Spanish dry-cured ham” Int. J. Food Microb. 13 (1991): 249-256
- Roncalés, P., Cilla, I. y Altarriba, J. (2003).** Efecto de la infiltración grasa y la maduración sobre la aceptabilidad del jamón curado. Proceeding II Congreso Mundial del Jamón, Cáceres.
- Rosell, C.M. y Toldrá, F. (1996).** Effect of curing agents on m-calpain activity throughout the curing process. Z Lebensm Unters Forsch 203: 320-325.
- Rosell, C.M., Flores, M. y Toldrá, F. (1996).** Myoglobin as an endogenous inhibitor of proteolytic muscle enzymes. J. Agric. Food Chem. 44: 3453-3456.

- Rovira, J., Ordóñez, M. y Jaime, I.** (1996). Importancia de la calidad sensorial y la presentación en la actitud de los consumidores frente al jamón serrano. *Eurocarne* 45, 39-44.
- Ruiz, J., Ventanas, J., Cava, R., Andrés, A. y García, C.** (1999). Volatile compounds of dry-cured iberian ham as affected by the length of the curing process. *Meat Science* 52: 19-27.
- Ruiz-Cabrera, M.A., Gou, P., Comaposada, J., Daudin, J.D., Foucat, L. y Renou, J.P.** (1998) Determination of the water diffusivity coefficient in pork meat. *Proceedings* 44th. ICoMST, Barcelona.
- Ruiz-Carrascal, J., Ventanas, J., Cava, R., Andrés, A.I. y 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. 4
- Ruiz-Ramírez J., Serra X., Gou, P. y Arnau J.** (2003) Efecto de la actividad de agua y contenido de agua sobre la textura del jamón curado. *Proceeding II Congreso Mundial del Jamón, Cáceres*
- SAS** (1987) *SAS/STAT Guide for Personal Computers* (Version 6 Edition). SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Sabio, E., Vidal-Aragón, M.C., Fallola, A., Sanabria, C. y Carrascosa, A.** (1995). Caracterización de los volátiles presentes en el jamón ibérico. *Alimentaria*, Mayo 95: 43-46.
- Sabio, E., Vidal-Aragón, M.C., Benalte, M.J. y Gata, J.L.** (1997). Volatile compounds present in six types of dry-cured ham from south european countries. *Food Chemistry* 00 (0): 1-11.
- Saldanha-da-Gama, A., Malfeito-Ferreira, M. y Loureiro, V.** (1997). Characterization of yeasts associated with portuguese pork-based products. *International Journal of Food Microbiology* 37: 201-207.
- Sanabria, C., Carrascosa, A.V., Sabio, E. y Fallola, A.** (1997) HACCP for 'Iberico' dry-cured ham. *Fleischwirtschaft* 77 (11): 1006-1008.
- Sánchez-López, J., García Garrido, J. A., Tapiador, J., Alcaide, M., Frontera, E. y Navarrete, I.** (2003) Etiología y distribución geográfica de los ácaros del jamón ibérico. *II Congreso Mundial del Jamón. Cáceres, 2003.*
- Sánchez-Molinero F.** (2003) La problemática de *Listeria monocytogenes* en el jamón curado: posibilidades para la aplicación de lactato y el Opti.form Listeria Control ModelTM. *Proceeding II Congreso Mundial del Jamón, Cáceres.*
- Sanz, Y. y Toldrà, F.** (1997). Aminopeptidase activities from *Lactobacillus sake* in models of curing ingredients and processing conditions for dry sausage. *Journal of Food Science* 62 (6): 1211-1234.
- Sárraga, C.** (1992a). Las enzimas proteolíticas en el jamón curado español. *Alimentación, equipos y tecnología, separata*: 81-85.
- Sárraga, C.** (1992b). Meat proteinases and their relation with curing. En *New technologies for meat and meat products*. Ed.:Smulders, F.J.M., Toldrà, F., Flores, J., Prieto, M. ECCEAMST Audet, Nijmegen: 233-246.
- Sárraga, C., Gil, M., Arnau, J. y Monfort, J.M.** (1989). Effect of curing salt and phosphate on the activity of porcine muscle proteases. *Meat Science* 25: 241-249.
- Sárraga, C., Gil, M. y García-Regueiro, J.A.** (1993). Comparison of calpein and cathepsin (B, L and D) activities during dry-cured ham processing from heavy and light large white pigs. *J. Sci. Food Agric.* 62: 71-75.
- Scharpf, L.G., Seitz, E.W., Morris, J.A. y Farbood M.I.** (1986) Generation of flavor and odor compounds through fermentation processes. En *Biogenesis of Aromas*. Editado por T.H. Parliment y R. Croteau. American Chemical Society, Washington D.C.
- Schiefer, G. y Schöne, R.** (1978) Herstellung von pökelfleisch unter verwendung von starterkulturen. *Fleischwirtsch.* 32: 215-216.
- Schillinger, U. y Lücke, F.K.** (1990) Lactic acid bacteria as protective cultures in meat

Bibliografía

products. *Fleischwirtschaft* 70 (11): 1296-1299.

Schivazappa, C., Virgili, R. y Parolari, G. (1992). Enzimi proteolitici nel prosciutto stagionato, II- Correlazione con i parametri chimici del muscolo fresco. *Industria Conserve* 67: 413-416.

Schivazappa, C., Saccani, G., Virgili, R. y Soresi Bordini, C. (1995). Evoluzione degli amminoacidi liberi durante la stagionatura del prosciutto crudo tipico. *Industria Conserve* 70: 377-385.

Schivazappa, C., Virgili, R., Degni, M. y Cerati, C. (1998). Effetto della tipologia suina di provenienza su alcune caratteristiche del prosciutto di Parma. *Industria Conserve*. 73: 110-116.

Schmidt, U. (1996). Die Milbenbekämpfung in der Fleischwirtschaft. *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung* 133: 262-267.

Schmidt, U. y Cremmling, K. (1975) Bekämpfung des Milbenbefalls bei Fleischerzeugnissen. *Fleischwirtschaft* 55: 823-828, 831-832

Shahidi, F., Rubin, L.J. y D'Souza, L.A. (1986). Meat flavour volatiles: a review of the composition, techniques of analysis and sensory evaluations. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 24, 141-243.

Silla, M.H., Inneraty, A. y Flores, J. (1985). Características de jamones con cristales de tirosina. *Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment.*, 25, 95.

Silla, H.; Molina, I.; Flores, J. y Silvestre, D. (1989). A study of the microbial flora of dry-cured ham. *Fleischwirtsch.* 69 (7): 1128-1131.

Soriano, A. (2001) Aptitud de tres cruces genéticos de cerdo blanco de la raza Duroc para la fabricación de jamón curado. Tesis doctoral. Universidad de Castilla-La Mancha.

Sosa, M.J., Córdoba, J.J., Díaz, C., Rodríguez, M., Bermúdez, E., Asensio, M.A. y Núñez, F. (2002). Production of cyclopiazonic acid by *Penicillium commune* isolated from dry-cured ham on a meat extract-based substrate. *Journal of Food Protection* 65 (6): 988-992.

Sosa, M.J., Alonso, M., Rodríguez, M., Andrade, M.J., Cava y Córdoba, J.J. (2003). Actividad deaminasa de microorganismos aislados durante el procesado del jamón curado. *Proceeding II Congreso Mundial del Jamón*, Cáceres.

Spotti, E., Mutti, P. y Campanini, M. (1988) Indagine microbiologica sul "difetto dell'ácido fenico" del prosciutto durante la stagionatura. *Industria Conserve* 63 (4): 343-346.

Stackebrandt, E., Koch, C., Gvozdiak, O. y Schumann, P. (1995). Taxonomic dissection of the genus *Micrococcus*: *Kocuria* gen. nov., *Nesteronkonionia* gen. nov., *Kytococcus*, gen. nov., *Dermacoccus*, gen. nov., *Micrococcus* gen. Cohn 1872 gen. emend. *International Journal of Systematic Bacteriology* 45: 682-692.

Stahnke, L.H. (1994). Aroma components from dried sausages fermented with *Staphylococcus xylosum*. *Meat Science* 38: 39-53.

Stahnke, L.H. (1995a). Dried sausages fermented with *staphylococcus xylosum* at different temperatures and with different ingredient levels. Part I. Chemical and bacteriological data.. *Meat Science*, 41 (2): 179-191.

Stahnke, L.H. (1995b). Dried sausages fermented with *Staphylococcus xylosum* at different temperatures and with different ingredient levels. Part II. Volatile components. *Meat Science* 41 (2): 193-209.

Stahnke, L.H. (1995c). Dried sausages fermented with *staphylococcus xylosum* at different temperatures and with different ingredient levels. Part III. Sensory evaluation. *Meat Science*, 41 (2): 211-223.

Stahnke, L.H. (1999) Volatiles produced by *Staphylococcus xylosum* and *Staphylococcus carnosus* during growth in sausage minces. I. Collection and identification. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*; 32 (6) 357-364

- Stone, H., Sidel, J., Oliver, S., Woolsey, A. y Singleton, R.C.** (1974). Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. *Food Technol.*, 28 (11): 24.
- Suñer, D., Casadevall, Domínguez, M. y Vicens, J.** (1987) Estudio de los ciclos vitales en función de la temperatura y humedad relativa (Anexo IV) en El jamón curado: aspectos tecnológicos. J. Arnau, M. Hugas, J.M. Monfort (Ed.). Institut de Recerca i Tecnologies Agriolimentàries. Girona.
- Szczesniak, A.S. y Klein, D.H.** (1963) Consumer awareness of texture and other food attributes. *Food Technology* 17 (1): 74-78
- teolysis in dry fermented sausages: the effect of selected exogenous proteases.
- Szlendak, E.** (1996) *Zeszyty Naukowe Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy. Ochrona Srodowiska (Poland)*, 2 (214): 105-114
- Tabilo, G., Flores, M., Fiszman, S.M. y Toldrá F.** (1999). Postmortem meat quality and sex affect textural properties and protein breakdown of dry-cured ham. *Meat Science* 51 (3): 255-260. 2
- Talon, R., Montel, M.C., Berdague, J.L. y Cantonnet, M.** (1992a). Biochemical characteristics of dry sausages in relation with starter cultures. 38th ICoMST, Clermont-Ferrand, France.
- Talon, R., Montel, M.C., Berdague, J.L. y Cantonnet, M.** (1992b). Lipolytic activity of *micrococcaceae*. 38th ICoMST, Clermont-Ferrand, France.
- Talon, R., Walter, D. y Montel, M.C.** (1998). Effect of *Staphylococci* and lactic acid bacteria on the oxidation of unsaturated free fatty acids. *Proceedings 44th. International Congress of Meat Science and Technology*. Barcelona.
- Talon, R., Walter, D. y Montel, M.C.** (2000) Growth and effect of *Staphylococci* and lactic acid bacteria on unsaturated free fatty acids. *Meat-Science*; 54 (1): 41-47
- Tetlow, A.L. y Hoover, D.G.** (1988) Fermentation products from carbohydrate metabolism in *Pediococcus pentosaceus* PC39. *Journal of Food Protection* 51 (10): 804-806.
- Timón, M.L., Ventanas, J., Martín, L., Tejada, J.F. y García, C.** (1998). Volatile compounds in supercritical carbon dioxide extracts of iberian ham. *J. Agric. Food Chem.* 46: 5143-5150.
- Toldrá, F.** (1992). The enzymology of dry-curing of meat products. En *New Technologies for meat and meat products*. Ed.:Smulders, F.J.M., Toldrá, F., Flores, J., Prieto, M. ECCEAMST Audet, Nijmegen
- Toldrá, F.** (1998a). Desarrollo de las características de textura y flavor: contribución enzimática. En: *El Jamón curado: Tecnología y análisis de consumo*. Simposio Especial- 44th ICoMST. Editado por I.R.T.A y Eurocarne. Autor: Arnau, J. y Monfort, J.M.: 42-54.
- Toldrá, F.** (1998b). Proteolysis and lipolysis in flavour development of dry-cured meat products. *Meat Science* 49 (1): 101-110.
- Toldrá, F. y Etherington, D.J.** (1988). Examinations of cathepsins B, D, H and L activities in dry-cured hams. *Meat Sci.* 23 (1): 1-7.
- Toldrá, F. y 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*, 38 (4): 331-352.
- Toldra, F., Flores, J. y Voyle, C. A.** (1990) Study of the white film developed on the cut surface of vacuum-packed dry-cured ham slices. *Journal of Food Science* 55 (4): 1189-1191.
- Toldrá, F., Rico, E. y Flores, J.** (1992a). Activities of pork muscle proteases in model cured meat systems. *Biochimie* 74: 291-296.
- Toldrá, F.; Motilva, M.J., Aristoy, M.C. y Flores, J.** (1992b). Lipase, esterase and aminopeptidase activities in raw pork adipose tissue. 38th ICoMST. Clermont- Ferrand, Francia. 609-612.

Bibliografía

- Toldrá, F., Aristoy, M.C., Part, C.; Cervero, C., Rico, E., Motilva, M.J. y Flores, J. (1992c).** Muscle and adipose tissue aminopeptidase activities in raw and dry-cured ham. *J. Food Sci.* 57 (4): 816-818.
- Toldrá, F.; Rico, E. y Flores, J. (1993a).** Cathepsin B, D, H and L activities in the processing of dry-cured ham. *J. Sci. Food Agric.* 62 (2): 157-161.
- Toldrá, F., Cerveró, M.C. y Part, C. (1993b).** Porcine aminopeptidase activity as affected by curing agents. *Journal of Food Science* 58 (4): 724-726.
- Toldrá, F., Flores, M. y Aristoy, M.C. (1996).** Pattern of muscle proteolytic and lipolytic enzymes from light and heavy pigs. *J Sci Food Agric* 71: 124-128.
- Toldrá, F., Aristoy, MC y Flores, M. (2000)** Contribution of muscle aminopeptidases to flavor development in dry-cured ham. *Food-Research-International* 33 (3/4): 181-185.
- Tsai, L. y Hudson, C.A. (1984).** Cholesterol oxidation in comercial dry egg products: isolation and identification. *Journal of Food Science*, 49: 1245-1248.
- Tsvetkov, T.; Bakalivanov, S.; Bakalivanova, T.; Dineva, B. y Meranzov, N. (1989)** Starter culture influence on some changes of muscle proteins during pork fillet drying. In 'Proceedings. 35th International Congress of Meat Science and Technology. Copenhagen.
- Untermann, F. y Müller C. (1992)** Influence of aw value and storage temperature on the multiplication and enterotoxin formation of *staphylococci* in dry-cured raw hams. *Int. J. Food Micr.* 16 (12): 109-115.
- Valin, C. y Ouali, A. (1992).** Proteolytic muscles enzymes and *post mortem* meat tenderization. En *New Technologies for meat and meat products*. Ed.:Smulders, F.J.M., Toldrá, F., Flores, J., Prieto, M. ECCEAMST Audet, Nijmegen: 163
- Vandekerckhove, P (1977)** Amines in dry fermented sausage. *Journal of Food Science* 42 (1): 283-285.
- Ventanas, J., Córdoba, J.J., Antequera, T., García, C., López-Bote, C. y Asensio, M.A. (1992).** Hidrolysis and maillard reactions during ripening of iberian ham. *Journal of Food Science* 57 (4): 813-815.
- Ventanas, J., Cava, R., Tejada, F. y Ruiz, J. (2000)** Perspectivas actuales para la diferenciación de la alimentación en los jamones de cerdo ibérico
- Verplaetse, A. (1994)** Influence of raw meat properties and processing technology on aroma quality of raw fermented meat products. 40th ICoMST, The Hague, Netherlands: 45-65.
- Vestergaard, C. y Parolari, G. (1999).** Lipid and cholesterol oxidation products in dry-cured ham. *Meat Science* 52: 397-401.
- Vignolo, G.M., Ruiz Holgado, A.P. y Oliver, G. (1988)** Acid production and proteolytic activity of *Lactobacillus* strains isolated from dry sausages. *Journal of Food Protection* 51 (6): 481-484.
- Virgili, R., Parolari, G., Schivazappa, C., Soresi Bordini, C. y Volta, R. (1995a).** Effeto della materia prima sulla proteolisi e sulla consistenza del prosciutto crudo tipico. *Industria conserve*, 70.
- Virgili, R.; Parolari, G.; Schivazappa, C.; Soresi-Bordini, C. y Borri, M. (1995b).** Sensory and texture quality of dry-cured ham as affected by endogenous cathepsin B activity and muscle composition. *J. Food Sci.* 60 (6): 1183-1186. 15.
- Virgili, R., Schivazappa, C., Parolari, G., Soresi Bordini, C. y Degni, M. (1998).** Proteases in fresh pork muscle and their influence on bitter taste formation in dry-cured ham. *Journal of Food Biochemistry* 22: 53-63. 6
- Walstra, P. y Jennes, R. (1984)** En *Dairy Chemistry and Physics*. Editado por New York:John Wiley & sons.
- Wang, F.S. (2001).** Lipolytic and proteolytic properties of dry-cured boneless hams ripened in modified atmospheres. *Meat Science* 59: 15-22.

- Watts, B.M.** (1972). Meat products. Avi publishing Co., Westport. Connecticut.
- Weber, H.** (1994) Dry sausage manufacture. The importance of protective cultures and their metabolic products. *Fleischwirtschaft* 74 (3): 278-282.
- Whitfield, F.B.** (1992). Volatiles from interactions of Maillard reaction and lipids. *Critical reviews in Food Science and Nutrition* 31: 1-58.
- Wu, M.T., Ayres, J.C. y Koehler, P.E.** (1974) Toxicogenic *Aspergilli* and *Penicillia* isolated from aged cured meats. *Appl. Microb.* 28 (6) 1094-1096.
- Yanai, S., Ishitani, T. y Kojo, T.** (1980) Effects of low-oxygen atmospheres on growth of fungi. *Journal of Japanese Society of Food Science and Technology* 27 (1): 20-24
- Zhang, W.B., Addis, P.B. y Krick, T.P.** (1991). Quantification of 5 α -cholestane-3 β , 5 α , 6 β -triol and other cholesterol oxidation products in fast food french fried potatoes. *Journal of Food Science*, 56: 716-718.
- Zhang, Y.Z., Ritter W.J., Barker C.C., Traci, P.A. y Ho C.T.** (1994). Volatile formation by lipid-mediated Maillard reaction in model systems. In *Lipids in Food Flavors*, American Chemical Society, Washington D.C., USA. Chapter 4: 49-60.