Factores que afectan a la salazón del jamón curado

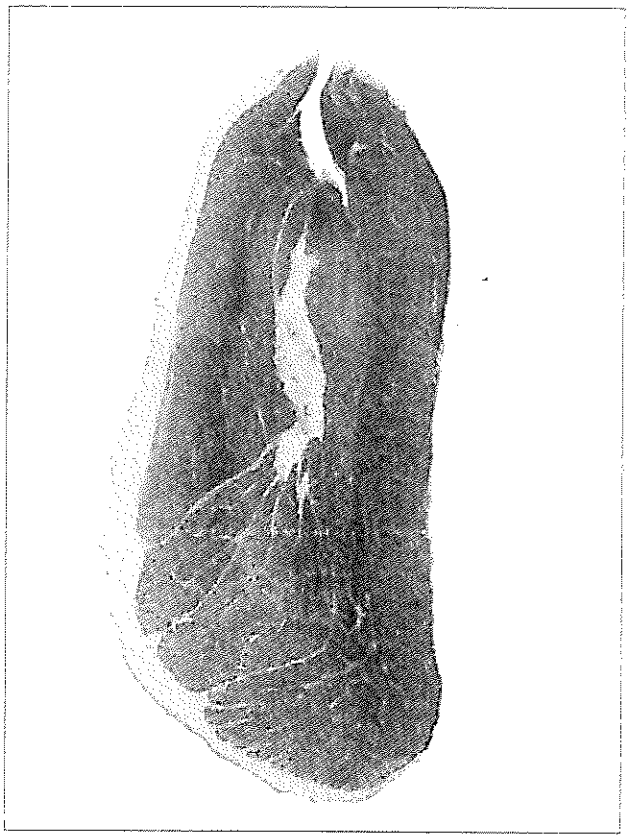


Figura 1. Halos de nitrificación.

En este artículo se lleva a cabo un repaso completo de las diferentes tecnologías de salazón del jamón curado, tanto de los ingredientes como de los aditivos utilizados en estos procesos así como de los factores que influyen en la absorción de sal en el jamón curado y los elementos de control en el proceso.

JACINT ARNAU
IRTA Tecnologia dels Aliments
Finca Camps i Armet s/n. E-17121 Monells (Girona)
jacint.arnau@irta.es

Introducción

El jamón curado es un producto cárnico en el que la sal (NaCl) constituye el ingrediente fundamental. El cloruro sódico actúa como saborizante, estabiliza el producto por disminución de la actividad de agua (a_w) y afecta a la actividad de los enzimas proteolíticos (Toldrá y Etherington, 1988; Sárraga y col., 1989; Arnau y col., 1998), a la textura (Ruiz-Ramírez y col., 2006) y al aroma final del producto (Toldrá y Flores, 1998). Cuando se utiliza como única sustancia añadida en la elaboración del jamón curado, tras un largo proceso de secado-maduración, se obtiene un color rosado debido a la formación del pigmento Zn-porfirina (Wakamatsu y col., 2004a, b). La obligación de usar determinados tipos de sal, establecida en algunos pliegos de condiciones para elaborar jamones curados, parece que tiene una relación más importante con el respeto de las tradiciones que con diferencias objetivas en la calidad del producto que se obtiene (Poma, 1998).

Tradicionalmente, junto con la sal, se han utilizado sales de curado. Hasta principios del siglo XX el nitrato fue la sal de curación utilizada. Polenske (1891) demostró que el nitrato era reducido a nitrito por acción bacteria-

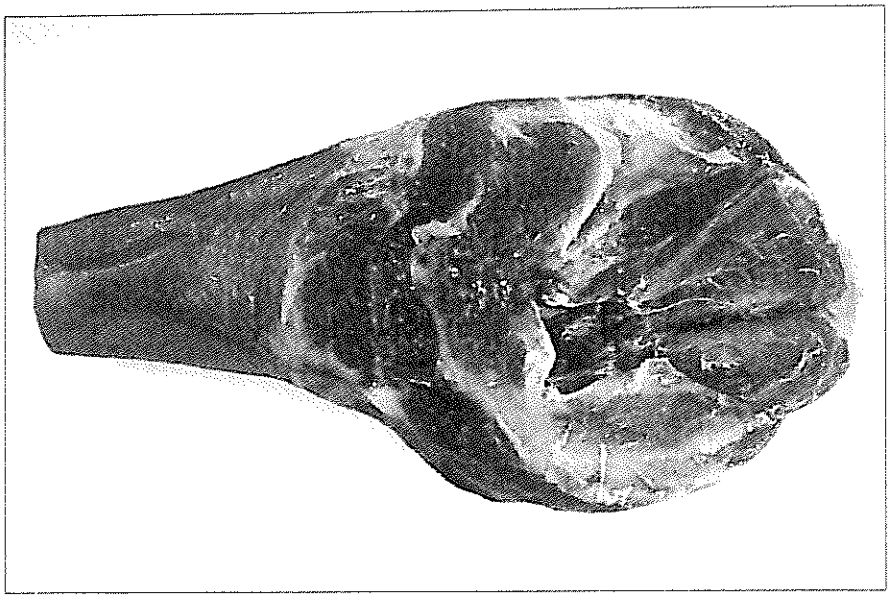


Figura 2. Oxidación del color del magro bajo la escápula.

na. Lehmann (1899) estableció que el color característico de las salazones era debido al nitrito y Haldane (1901) explicó el mecanismo de formación del color por la combinación del óxido nítrico con el pigmento de la carne. Actualmente, el nitrato sigue siendo el agente nitrificante preferido en productos de larga maduración y el nitrito lo es en los procesos en los que se desea una nitrificación rápida.

La salazón constituye la fase del proceso en que se adicionan a la superficie del jamón los aditivos y la sal común necesarios para que una vez distribuidos pueda darse el proceso de maduración que generará las características de aspecto, textura y flavor deseados y propios del producto. En este artículo se pretende hacer una revisión de las distintas tecnologías de salazón, de los ingredientes y aditivos que se pueden utilizar, de los factores que pueden afectar a la absorción de la sal en el jamón curado y de los elementos de control del proceso de salado.

Proceso de salado

El proceso de salado va precedido por la selección, clasificación, identificación y desangrado de la materia prima, y suele constar de una fase de presalado y una posterior de salado.

Presalado

En los procesos de apilado, se efectúa un presalado previo mediante un masaje que facilita la distribución superficial y la penetración de los ingredientes y aditivos añadidos, ayuda a extraer la sangre residual presente en los vasos sanguíneos, da flexibilidad a la pieza y disminuye el espesor del jamón. Si bien el masaje puede hacerse manualmente, lo más habitual es realizarlo mediante masajeadoras o bombos (con o sin vacío). Este masaje puede ser complementado con un ligero prensado, que también reduce el espesor, y por tanto el tiempo necesario para que los ingredientes y aditivos alcancen el centro de la pieza.

En algunos casos se inyecta salmuera con el objetivo de eliminar el líquido sinovial (Martín y col., 2003), estabilizar zonas problemáticas y, quizás también, para favorecer la extracción de restos de sangre y contribuir a mantener una salmuera saturada en la superficie durante el salado. La composición de la salmuera de inyección dependerá de los objetivos deseados, así por ejemplo Arnau y col., (1987) utilizaron en jamones salados mediante apilado tradicional, una salmuera que contenía agua, sal, ácido láctico y nitrato potásico, con la finalidad de mejorar la estabilidad en las zonas más vulnerables.

La mezcla de ingredientes y aditivos que se añade en el presalado del jamón puede contener sal común mezclada con sales de curado (nitrato potásico y nitrito sódico), ascorbato de sodio, isoascorbato de sodio, azúcares y saborizantes cuyas funciones principales se detallan a continuación:

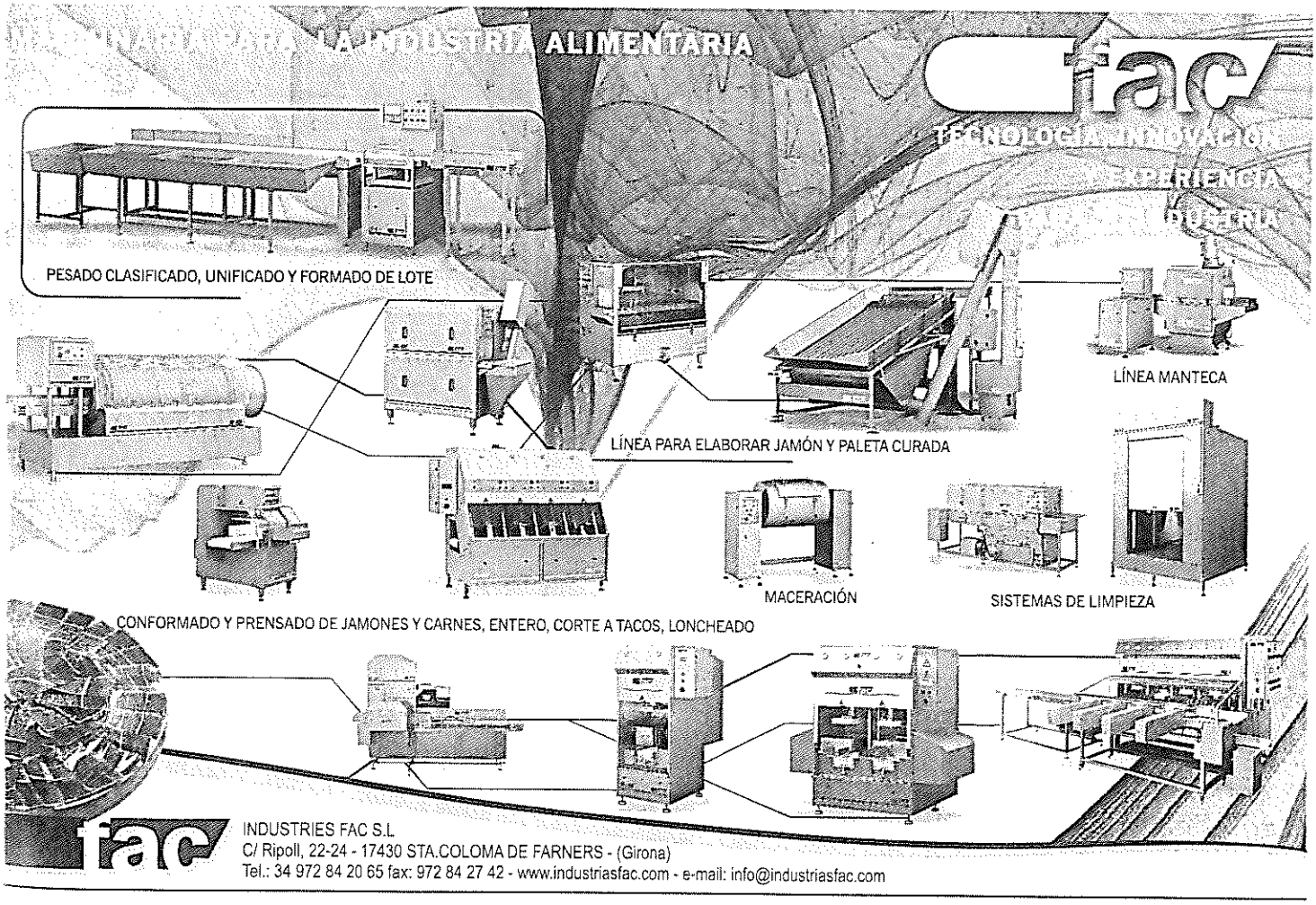
Sales de curado: nitrito sódico y nitrato potásico

- El nitrito se añade para inhibir el crecimiento de microorganismos alterantes (e.g. *Enterobacteriaceae*) y potencialmente patógenos (*Clostridium botulinum* y *Salmonella spp.*) (Leistner y col., 1983), obtener el color rojizo característico previa reducción a óxido nítrico (Pegg y col., 1997), por su acción antioxidante y por su contribución al aroma (Mac Donald y col., 1980). Sin embargo, el nitrato por sí sólo carece de estas propiedades y su efecto depende de su reducción a nitrito. Por tanto, el nitrito puede reducir los contajes de las bacterias deteriorantes si se adiciona en el presalado, cuando los contajes son bajos. El efecto derivado del nitrito producido por la reducción del nitrato es menor, ya que cuando se genera el nitrito, las bacterias deteriorantes han tenido suficiente tiempo para crecer. Incluso se ha encontrado un contenido medio de nitrito superior en jamones deteriorados que en los comestibles (Leistner y col., 1983).

El contenido de nitratos presente en el pernil fresco es poco importante. En aquellos jamones a los que se le añaden nitratos, su concentración en el interior aumenta por difusión desde la zona externa y disminuye durante el reposo y secado por reducción a nitrito, mientras que en superficie disminuye a partir del salado por difusión al interior y por reducción. Al final del proceso, la concentración en los músculos interiores (más húmedos) es mayor que en los exteriores, lo cual puede ser debido a la tendencia a equilibrar la relación nitrato/agua (Arnau y col., 1995).

El nitrito añadido en el presalado disminuye durante el salado y primeras semanas de reposo. A pH bajo, la reacción de transformación del nitrito a óxido nítrico se produce de forma más rápida, lo cual hace que se necesite mayor cantidad de nitrito añadido para lograr un color homogéneo al corte y evitar los halos de nitrificación (Arnau y col., 2003a) (figura 1). En los procesos en los que se usan nitratos, la concentración de nitrito aumenta durante el periodo de reposo e inicio del secado, especialmente en las zonas superficiales (Hernández y Huerta, 1993; Huerta, 1986; Arnau y col., 1995). El momento en que se inicia la transformación del nitrato a nitrito depende del pH de la carne y de la flora nitratoreductasa, cuyo crecimiento está influido por la temperatura. La cantidad de nitrito residual es muy baja (normalmente <10 ppm) tanto si se ha añadido como nitrito sódico como si se ha reducido a partir de nitrato.

La absorción de sales nitrificantes se efectúa principalmente por la parte magra, pero debe asegurarse que se produce también absorción a través de los huesos externos, corteza y grasa subcutánea. El óxido nítrico, que se produce por acción de substancias reductoras de la carne sobre el nitrito, puede atravesar la corteza y la grasa, y contribuye a la nitrificación del jamón y de los otros situados en la misma pila (Arnau y col., 2003a). Si no tiene lugar una buena absorción de nitrificante a través del hueso coxal en el caso del jamón y de la escápula en el caso de la paleta, se produce una oxidación de la carne adyacente a dichos huesos (figura 2). Para



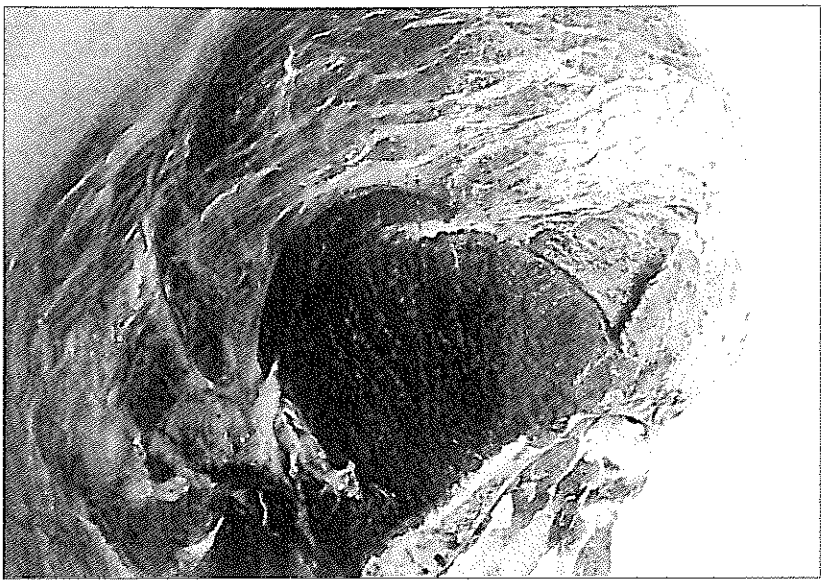


Figura 3. Efecto del ascorbato en el color superficial (rojo) y quemadura del nitrito (verde).

evitarlo debe asegurarse que se aplican nitrificantes sobre el hueso y que éste tiene suficiente humedad durante la salazón o después del lavado para absorberlos.

En las mezclas de sales que contienen nitrito de sodio, si éste está húmedo, tiende a depositarse en el fondo del recipiente, por lo que conviene volverlas a mezclar antes de usarlas. Por otra parte, el nitrito es inestable en presencia de agentes reductores y materiales orgánicos, por tanto, no se debe premezclar con substancias reductoras o especias.

-El ascorbato y el isoascorbato aceleran la transformación del nitrito en óxido nítrico, evitan la quemadura superficial originada por el nitrito (**figura 3**) y frenan la formación de nitrosaminas en el magro. Deben distribuirse de forma homogénea de manera que no formen grumos, ya que estos podrían producir manchas oscuras en la grasa debidas a la reacción de pardeamiento que sufren sus productos de oxidación.

-Los azúcares por una parte favorecen el crecimiento de la flora superficial, estabilizan el color, confieren un ligero sabor dulce y reducen los precipitados de fosfato en superficie. Por otra parte, pueden generar olores y sabores ácidos (Boadas y col., 2000b) o zonas de color pálido si se desarrolla la flora láctica.

- Las especias, vinos, condimentos y aromas enriquecen el perfil de volátiles y pueden contribuir a mejorar la calidad sensorial de los jamones que se elaboran mediante procesos de corta duración.

En el presalado en bombo es conveniente mezclar bien los componentes minoritarios (e.g. nitrito, nitrato, ascorbato) con sal y/o azúcares, ya que si no se puede producir una mala distribución de estas substancias, de forma que unos jamones absorban una cantidad excesiva y otros insuficiente.

Salado

A lo largo del siglo XX se probaron diversas tecnologías para acelerar la penetración de la sal en el jamón, entre las cuales se destacan: salado seco, medio-seco, salado en salmuera, inyección y masaje, ultrasonidos, centrifugación, vacío, congelación, corriente eléctrica, sobrepresión y alternancia de sobrepresión/vacío (Vandendriessche, 2005).

En los países mediterráneos se utiliza el salado por vía seca, mientras que en el norte de Europa es común tanto el salado por vía seca como el salado en salmuera. En el salado en seco se produce una mayor deshidratación osmótica del jamón y un mayor consumo de sal, mientras que en el salado en salmuera tanto la deshidratación osmótica como el consumo de sal son menores (Barat y col., 2006).

El salado por vía seca puede realizarse utilizando dos metodologías distintas:

a) Salado de los jamones por recubrimiento de sal

Puede hacerse mediante salado individual de los jamones (San Danielle) o bien mediante apilado en contenedores de acero inoxidable durante un tiempo de aproximadamente 1 día por Kg. para los jamones refrigerados y de algunos días menos para los congelados. Para determinar el tiempo de salazón es conveniente tener en cuenta que la cantidad de sal absorbida aumenta con el tiempo, y ello incluye los días de presalado. El apilado con sal debe realizarse tan pronto como la temperatura alcance un valor entre 1 y 3 °C para poder facilitar la inhibición del crecimiento de bacterias indeseables. El apilado ocasiona una presión que es especialmente elevada en los estratos inferiores, facilitando la pérdida de agua de los jamones situados en estos niveles (Boadas, 1997).

Si el proceso de salado es suficientemente uniforme, la pérdida de peso que tienen los jamones durante esta etapa puede utilizarse como medida predictiva de la merma que van a tener los jamones a lo largo de su proceso de maduración, y por tanto, se puede utilizar como herramienta para disminuir la variabilidad del proceso de secado (Gou y Comaposada, 2002).

La sal utilizada suele estar humidificada para permitir un salado correcto, y la humedad relativa (HR) ambiental de la cámara debería ser superior al 75 %, para evitar la deshidratación de la sal y facilitar la formación de una salmuera saturada en la superficie del jamón.

b) Salado mediante una cantidad de sal limitada (proporcional al peso de los jamones)

El ejemplo más conocido lo constituye el jamón de Parma, en el que se mantiene la temperatura entre 0 y 4 °C y la humedad relativa entre un valor mínimo de 70-75 % y un valor máximo de 85-90 % (Chizzolini y col., 1993). Con ello se logra el salado de las zonas en contacto con la sal y se permite el secado de aquellas zonas que no lo están. En este caso el jamón permanece horizontalmente durante un periodo de 3-4 semanas, con lo cual se reduce su espesor, siendo inferior al que tendría si se colgara, ello favorece la penetración de la sal y la salida del agua del interior. En este sistema es importante lograr una buena adsorción de los granos de sal a la superficie del jamón. Un sistema similar a este puede lograrse mediante apilado de los jamones con separación por planchas. Éstas permiten el prensado de los jamones durante el salado, con lo cual se uniformiza el tiempo necesario para que la sal penetre al interior del jamón.

Figura 4. Jamón deshuesado procesado en bolsa con elevada permeabilidad al agua.

Otra tecnología alternativa consiste en realizar un masaje en bombo junto con los ingredientes y aditivos y un reposo posterior en contenedores donde el jamón está en contacto con la salmuera exudada. En estos casos se aconseja repetir dos veces el proceso para lograr una mayor uniformidad en la distribución de sal entre jamones y no prolongar el tiempo de reposo en contenedor ya que el exudado puede reabsorberse, y por otra parte, puede producirse un crecimiento de microorganismos indeseables en aquellas zonas no cubiertas por la salmuera (remelo). En este sistema la corteza permanece totalmente hidratada, por lo que es de esperar que tenga lugar una mayor difusión de sal a través de ella que en el proceso tradicional en pila.

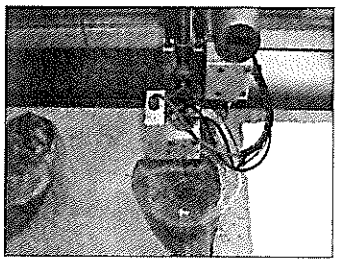
En el salado de jamones sin hueso, la cantidad de sal añadida se puede disminuir a valores inferiores a 30 g/kg, ya que se absorbe en su totalidad y prácticamente no se produce exudado de salmuera. En estos casos, el salado puede realizarse dentro de envases plásticos impermeables o en bolsas con elevada permeabilidad al agua en las que el jamón permanece hasta el final del proceso (figura 4). Este tipo de bolsas permiten una pérdida de agua similar a la que se produce en el salado y secado tradicional, eliminan los proble-

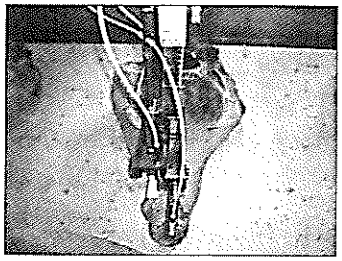
TIMPOLOT

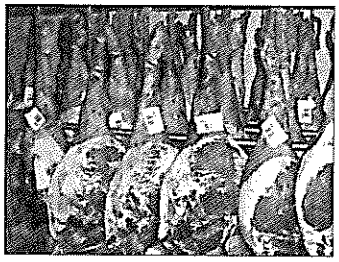
APLICACIÓ DE SISTEMES
APLICACIÓN DE SISTEMAS

Passeig Sant Roc nº 26
17800 Olot (Girona)
Tel.: 687 725 970
Fax: 972 273 409
jordib@timpolot.com

Empresa especializada en automatización, visión artificial **y** robótica. **Realizamos máquinas a medida para cada cliente y aplicación, y es la primera empresa de España que automatizó el etiquetaje de jamones.**
La máquina controladora **PH120** ha sido fabricada para el control de jamones en la descarga pieza a pieza.


Control de pH


Etiquetaje


Trazabilidad total del producto

La única máquina del mercado que permite realizar este proceso automáticamente.

La máquina se ha fabricado en colaboración con **IRTA** y está en las instalaciones del CENTA para demostraciones.

Máquinas en producción en:

mas de formación de grietas, afluentes de sal y el crecimiento de mohos y ácaros en el producto (Serra y col., 2007).

El salado por vía húmeda puede realizarse por inmersión en salmuera o mediante su inyección en el producto (Leistner y col., 1983; Vandendriessche, 2005).

Las investigaciones para reducir el contenido de sodio en la elaboración de jamón curado deben permitir seleccionar una materia prima adecuada, mantener unos buenos niveles de seguridad y estabilidad y obtener un producto aceptable para el consumidor

Cuando la carne se expone a una salmuera concentrada, primero pierde agua y después tiende a ganar, alcanzando un volumen final que depende de la concentración de sal de la salmuera.

Cuando se utilizan salmueras saturadas el jamón adquiere un contenido de sal excesivo y existe mayor riesgo de quemaduras debidas a la sal. Para evitarlo, se usan salmueras de unos 20 Bé que descienden hasta unos 17-18 Bé durante el proceso. De forma análoga al sistema de salado en pila, sólo se precisa reponer las sales que absorbe el jamón (Vandendriessche, comunicación personal). Este sistema tiene la ventaja de que al realizar la descongelación y el salado en salmuera se reduce considerablemente el tiempo de descongelación y el necesario para que la sal penetre al interior del jamón (Vandendriessche, 2005; Barat y col., 2006), pero en cambio, debido a que se produce poca deshidratación osmótica, se alarga el tiempo de secado (Barat y col., 2006). En el salado por vía húmeda la salmuera puede ejercer un ligero efecto uniformizador del pH superficial que puede ayudar a homogeneizar la transformación del nitrito a óxido nítrico en la superficie del jamón. Por lo tanto, es de esperar una mayor homogeneidad en la nitrificación por nitrito que en el salado por vía seca. Además, el contenido de oxígeno es menor en la salmuera que en la pila de sal y en consecuencia se formará menos NO_2 y se producirán menos quemaduras debidas al nitrito. Por otra parte, la capacidad que tiene la salmuera de extraer fosfatos de la carne disminuye con el uso, y como consecuencia su contenido final será mayor que en el salado por vía seca, lo cual puede generar más problemas de precipitados de Na_2HPO_4, aunque este problema se puede compensar acidificando muy ligeramente la salmuera.

Cuando finaliza el salado, tanto por vía seca como por vía húmeda, se puede eliminar la salmuera y los restos de sangre que puedan quedar en los vasos sanguíneos mediante la aplicación de un masaje adicional en máquinas de rodillos.

Factores que afectan a la absorción, difusión y redistribución de la sal

La absorción de la sal consta de dos procesos: la formación de salmuera en contacto con la superficie del producto y la posterior difusión de los iones Cl- y Na+ desde la superficie al interior.

La mayoría de estudios realizados en carne y productos cárnicos muestran que el movimiento de la sal en el interior de dichos productos se ajusta de forma razonable a un proceso difusivo (Andújar y Tarrazo, 1981) que puede ser explicado por las leyes de Fick. Según estas leyes, la difusión depende de la distribución de sal y agua dentro del producto y del coeficiente de difusión, que es una característica del producto que depende de su composición, estructura y temperatura.

Factores que afectan a la formación de una salmuera en contacto con el jamón

La formación de salmuera es una condición necesaria para lograr la absorción posterior de los iones Cl- y Na+, que depende de los ingredientes y aditivos utilizados, de factores ambientales y de la materia prima.

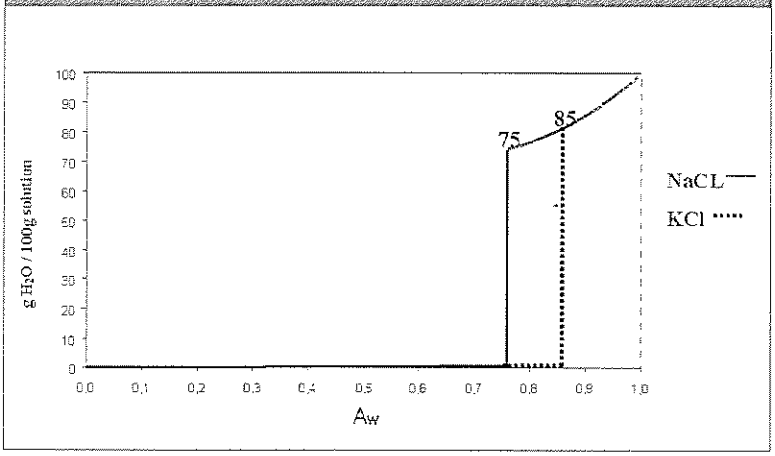
Ingredientes y aditivos utilizados

La aplicación de una sal de recubrimiento con humedad elevada facilita la formación de salmuera superficial y reduce el resecado superficial de la carne, grasa y corteza. Sin embargo, al cubrir el jamón de sal, debe evitarse que ésta contenga salmuera en abundancia, ya que si bien puede ayudar al salado, produciría un arrastre de las sales nitrificantes añadidas en el presalado, y por tanto no serían absorbidas por el jamón.

La granulometría de la sal utilizada puede afectar también a la formación de salmuera. La sal de grano fino tiene una mayor superficie de contacto con la carne que la de grano grueso, y se disuelve de forma más rápida formando una salmuera que desagua de la superficie del jamón también con rapidez, pudiéndose acumular incluso en el mismo bombo de salado. Si esto ocurre, puede afectar a la homogeneidad de la nitrificación en el caso del salado en pila y a la homogeneidad del contenido de sal en jamones salados en bombo con una cantidad de sal limitada.

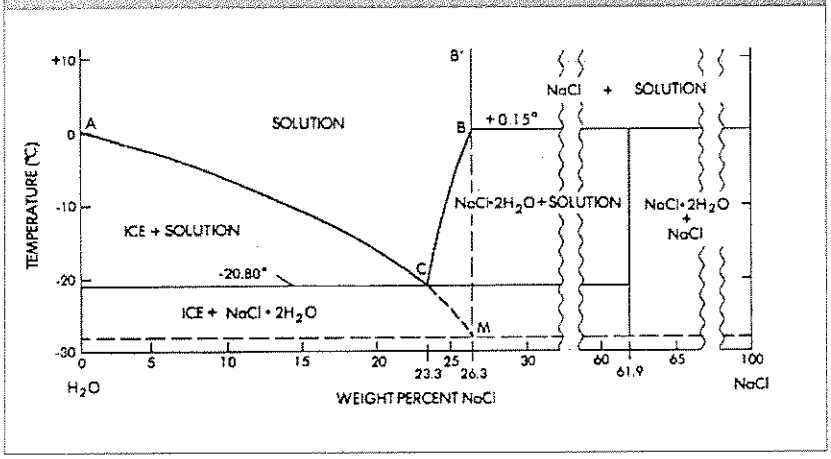
Las sales que se pueden utilizar en la elaboración del jamón curado tienen distintas actividades de agua críticas por encima de las cuales absorben agua, y por debajo de estos valores críticos de HR cristalizan y, por lo tanto, no pueden absorberse. Así por ejemplo, la sal común a 5 °C y a una HR inferior al 75,6 % tiende a secarse mientras que a HR superiores absorbe humedad (HR crítica=75,6 % a 5 °C y 75,3 % a 25 °C) (figura 5). El nitrito sódico tiene una HR crítica de 66 % a 5 °C y de 63,0 % a 30 °C; la del nitrato sódico es de 72,8 % a 30 °C y la del nitrato potásico de 96,3 % a 5 °C y de 93,6 % a 25°C. De estas sales, el nitrito sódico es la que permite que se forme salmuera a humedades relativas más bajas, y por tanto, en este sentido, puede favorecer el proceso de salado en condiciones de baja HR ambiental.

Figura 5. Isoterma de la sal y del KCl



Los azúcares pueden ocupar parte de la superficie de la carne y afectar a la composición y viscosidad de la salmuera que se forme en superficie, afectando a la velocidad de absorción del NaCl.

Figura 6. Diagrama de fases de mezclas de NaCl y agua



Para la elaboración de productos con menor contenido de sal se ha propuesto el uso de KCl (Keeton, 1984), que se hidrata a una HR > 87,7 % a 5 °C y a HR > 84,3 % a 25 °C, y de lactato potásico que se comercializa en forma líquida a unas concentraciones del 60 % y del 78 % y que no presenta humedades críticas en el rango normal de HR.

Factores ambientales

Tal como se ha visto en el apartado anterior, cada uno de los ingredientes y aditivos tiene unas humedades críticas propias. Sin embargo, la sal es la sustancia que por la cantidad añadida constituye el factor que condiciona en mayor medida la HR mínima necesaria para facilitar la formación de salmuera en superficie. Por otra parte, una HR superior al 95 % provoca una pérdida de sal del pernil y puede aumentar el riesgo de remelo en aquellos jamones a los que se les añade una cantidad de sal limitada.

La temperatura también puede afectar a la hidratación de la sal. En concreto, cuando el contenido de agua de la mezcla sal-agua es inferior al 38,1 % y la temperatura de la sal es inferior a 0,15 °C, el NaCl se hidrata formándose cristales de $NaCl{\cdot}2H_2O$ (Hall y col., 1988) (**figura 6**), lo cual disminuiría la cantidad de salmuera en superficie.

El tratamiento mecánico del jamón mediante bombos, masajeadoras y prensas puede facilitar que los granos de sal queden adheridos entre las fibras superficiales de la carne, en la grasa, corteza y huesos con lo cual la salmuera se forma dentro de los tejidos y se absorbe con mayor facilidad. Sin embargo, debe evitarse el embarrado ya que podría reducir la velocidad de disolución de la sal en la superficie del jamón. Los factores que pueden aumentar el embarrado son: baja temperatura de fusión de la grasa debido a su elevado grado de insaturación, corte V, temperatura elevada y acción mecánica intensa (masaje en bombo, cepillado...).

Finalmente, la presión de la pila puede facilitar la pérdida de agua, y la inyección de salmuera puede facilitar el salado en superficie, si parte de ella exuda durante el salado.

Factores de la materia prima

La formación de salmuera en superficie es menor en carnes de pH elevado y por el contrario se ve facilitada en carnes que poseen baja capacidad de retención de agua (CRA) (carnes exudativas (PSE) o de pH bajo), cuando la corteza, la grasa y los huesos poseen una humedad elevada en superficie o cuando los jamones han sido humedecidos previamente. Si se forma poca cantidad de salmuera en superficie, el salado se verá dificultado, pero si se forma mucha, ésta se evacuará con rapidez, disminuirá el contenido de agua superficial del jamón, y como consecuencia puede disminuir la absorción posterior de la sal.

La salmuera queda retenida durante más tiempo en la superficie en aquellos jamones que presentan la superficie del magro plana. Esta forma puede ser debida al propio jamón u originada mediante el prensado o el masaje al que se haya sometido.

En el salado por vía seca, la carne congelada y descongelada antes de la salazón favorece la formación de salmuera en superficie debido a que tiene una menor (CRA) que la carne fresca. En el salado por vía húmeda la formación de salmuera no se ve afectada, por lo que la velocidad de absorción de sal tampoco se ve modificada por ello (Sørheim y Gumpen, 1986).

Factores que afectan a la difusión de sal en el jamón

La difusión de los iones Cl- y Na+ depende de la superficie de intercambio, del coeficiente de difusividad, del espesor, del gradiente de concentración y del tiempo de salado (Poma, 1998).

Superficie de intercambio

Se considera que el magro es el tejido que absorbe la sal con mayor facilidad. Cuanto mayor sea la superficie de magro en contacto con la sal, mayor será su absorción. La superficie de magro depende del tipo de pulido, aumenta cuando se inyecta salmuera y por acción del masaje en el bombo cuando los granos de sal se incrustan entre músculos, fibras o vasos sanguíneos. La cantidad de sal que penetra por la corteza aumenta a medida que dis-

minuye el espesor de grasa subcutánea, pudiendo llegar a ser muy importante en el caso de jamones con muy poca grasa subcutánea, los cuales deberían ser descartados para la elaboración de jamón curado en pila ya que presentan un gusto excesivamente salado y una pérdida de peso muy superior a la media. Dado que la sal se absorbe más fácilmente por el magro y penetra de forma lenta a través de los huesos, si se retira el hueso coxal y/o el codillo antes del salado, se facilita la absorción y uniformización de la sal por todo el jamón.

Se debe intentar minimizar, en la medida de lo posible, el embarrado superficial del magro durante las acciones mecánicas que se efectúen, ya que éste dificultaría la absorción de las sales. La forma de colocar los jamones en el contenedor también puede afectar a la cantidad de sal absorbida. Lo ideal es colocarlos de forma que puedan amoldarse por efecto de la presión de las capas superiores, sin que contacten entre ellos. Sin embargo, frecuentemente, y con la finalidad de aumentar el número de jamones por contenedor, se colocan de forma que contacten lateralmente unos con otros y con las paredes. Con ello se reduce el número de contenedores necesarios pero también se disminuye la absorción de sal en las zonas de contacto y aumentan: la variabilidad del contenido de sal dentro del jamón y entre jamones, los problemas de textura blanda y posiblemente el porcentaje de calas.

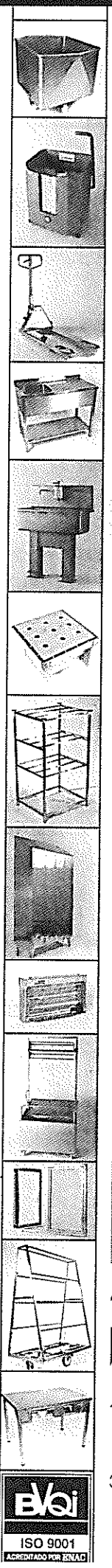
La situación en la pila afecta también a la absorción de sal cuando se usan perniles frescos y en menor medida cuando se usan congelados (Albarracín y col., 2005). Si se pone poca cantidad de sal en el fondo del contenedor, de forma que la salmuera formada pueda empapar la corteza y al mismo tiempo parte del magro de la primera capa de jamones, se producirá un mayor salado en los jamones del fondo del contenedor que en los de las capas superiores. Este efecto es de esperar que sea más importante cuando el contenido de humedad de la sal es bajo y la HR ambiental inferior al 75 %. Para compensar este efecto, puede ser conveniente aumentar el espesor de sal del fondo del contenedor y girar la pila a mitad de proceso de salado, de forma que los jamones que estaban arriba pasen abajo y viceversa.

La absorción de sal disminuye al disminuir el contenido de agua en superficie, lo cual afecta de forma muy importante a la corteza y a la grasa, y varía considerablemente entre jamones en función de las condiciones de HR ambientales a que se han sometido antes de la salazón, de forma que no es posible salar una carne, huesos, grasa o corteza secas.

La absorción de salmuera se verá reducida por substancias poco solubles añadidas en el presalado (especias, coadyuvantes de las mezclas de aditivos...) o impurezas acumuladas en la sal de la pila, ya que ocupan parte de la superficie de absorción.

Difusividad

La difusividad de la sal se reduce a medida que aumenta el contenido de grasa intramuscular y disminuye el contenido de agua e incrementa al disminuir el valor de pH (Paelinck, 2001). Sin embargo, García-Rey y col. (2004) observaron un menor contenido de sal en jamones con pH en fresco inferior a 5,55 en el músculo *semimembranosus*. Este hecho, si bien parece contradictorio, podría ser debido a una mayor facilidad de formación y evacuación de la salmuera (con una parte importante de sales nitrificantes) que dificultaría la absorción posterior de la sal, debido al menor con-

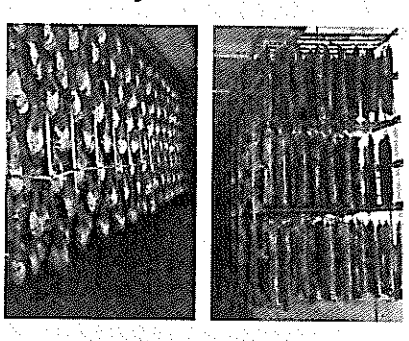


Industria especializada en la fabricación de

PALETS Y PERCHAS DE JAMONES Y EMBUTIDOS

Todo tipo de fabricados en acero inoxidable para la industria alimentaria

Perchas portajamones y embutidos



PRECIOS SIN COMPETENCIA

EMPRESA Nº1 EN FABRICACIÓN DE PALETS Y PERCHAS (MÁS DE 40.000 PALETS/AÑO)

SOLICITE NUESTROS CATÁLOGOS

Palets para jamones y embutidos

Nueva delegación en Guijuelo

HELCESA
FABRICADOS EN ACERO INOXIDABLE PARA LA INDUSTRIA CÁRNICA

Polígono Industrial –Parcela 501–
Tel.: 923 361 409 • Fax: 923 361 410
37439 CASTELLANOS DE MORISCOS (SALAMANCA)
http://www.helcesa.com
info@helcesa.com

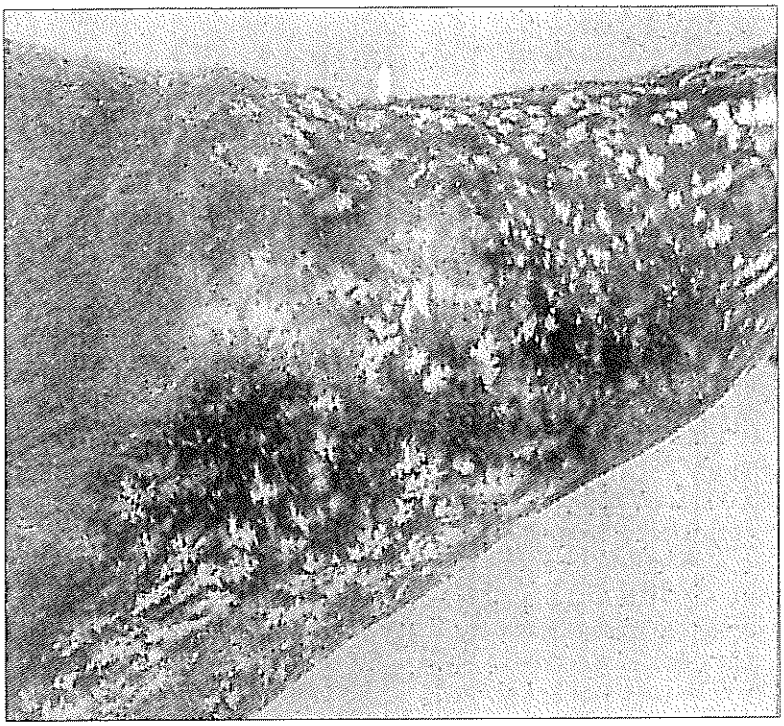


Figura 7. Precipitados de sal.

tenido de agua de la superficie, y quizás también a su mayor dureza y cohesividad (Ruiz-Ramírez y col., 2005). Cuanto mayor sea el contenido de grasa intermuscular peor será la difusión desde los músculos *semimembranosus* y adductor hacia el *bíceps femoris*. Por otra parte, según Graiver y col. (2006) el coeficiente de difusividad (D) aumenta con contenidos de sal entre 30 y 200 g/l. Este aumento del coeficiente de difusividad con la concentración de sal podría atribuirse al efecto del NaCl en la microestructura de las fibras musculares. El NaCl altera la microestructura de los tejidos y como consecuencia facilita su penetración (Pinotti y col., 2001). El coeficiente de difusividad en *longissimus* dorsi a 2 °C hallado por Gros y col. (1984) fue de $D_m = 2{,}19 \times 10^{-10}$ m²/s, que es inferior al del agua pura ($D = 8{,}16 \times 10^{-10}$ m²/s a 4 °C y $14{,}8 \times 10^{-10}$ m²/s a 25 °C) (Graiver y col., 2006).

Según Ockerman y col. (1999), a medida que las proteínas se hidratan, se cierran las vías para que penetre la sal y se obtiene un valor de D bajo hasta que la concentración de sal alcanza el 6-8%. Posteriormente, a medida que difunde la sal, las proteínas se encogen, se abren de nuevo las vías de entrada de sal y aumenta de nuevo el valor D.

El proceso de congelado de los jamones también puede aumentar la velocidad de difusión de la sal debido a la rotura de estructuras celulares que producen los cristales de hielo, especialmente cuando estos crecen por efecto de la recristalización que se produce a temperaturas ligeramente inferiores al punto de congelación, o por almacenamiento prolongado y oscilaciones de temperatura. Fox (1980) encontró un coeficiente de difusividad de $4{,}0 \times 10^{-10}$ m²/s en carne congelada y posteriormente descongelada. En salado en seco, González-Mendez y col. (1983) observaron un aumento del coeficiente de difusividad. Sørheim y Gumpen (1986) encontraron que la carne descongelada presentaba un 40% más de sal que la carne fresca cuando se utilizó el salado por vía seca. Sin embargo, estos últimos autores no observaron diferencias al realizar el curado en salmuera saturada, en cambio Barat y col. (2006) encontraron una mayor absorción de sal en jamones congelados que en jamones frescos al realizar el salado en salmuera. En los jamones descongelados los daños celulares dependen de la forma en que se realiza la congelación-descongelación y del tiempo y condiciones de almacenamiento, por lo que es de esperar que el uso de jamones descongelados genere una mayor variabilidad de contenidos de sal que los frescos.

Espesor del jamón

La distancia a recorrer por la sal desde la superficie es un factor importante que afecta a la concentración de sal en un punto concreto y en un momento dado. Para disminuir esta distancia se puede pulir más la corteza y la grasa externa, utilizar jamones menos conformados, prensar los jamones antes, durante o después del salado, inyectar salmuera o bien utilizar jamones deshuesados.

Diferencia de concentraciones de sal

La zona más superficial del producto salado en pila suele estar saturada, sin embargo cuando el aporte de sal es limitado o cuando se realiza el salado en salmuera, la diferencia de concentraciones puede afectar a la difusión.

Tiempo de salado

El tiempo de salado depende del tipo de tecnología utilizada. Puede oscilar desde unos 0,65 a 2 días por Kg. en jamón serrano (Fundación Jamón Serrano, 1998), hasta más de 30 días cuando se utiliza un aporte limitado de sal. En éste último caso la etapa de salado sirve también para lograr una cierta homogeneización del contenido de sal. En el salado en pila, para determinar el tiempo de salazón, es conveniente tener en cuenta que la cantidad de sal absorbida aumenta con el tiempo, y ello incluye los días de presalado.

Por otra parte el tiempo en que la superficie del jamón está cubierta de salmuera saturada será variable en función de las condiciones de salado utilizadas. En el sala-

do en contenedores se produce una pérdida de salmuera importante lo cual ocasiona pérdidas de volumen, originándose una disminución paulatina del área de contacto del jamón con la sal.

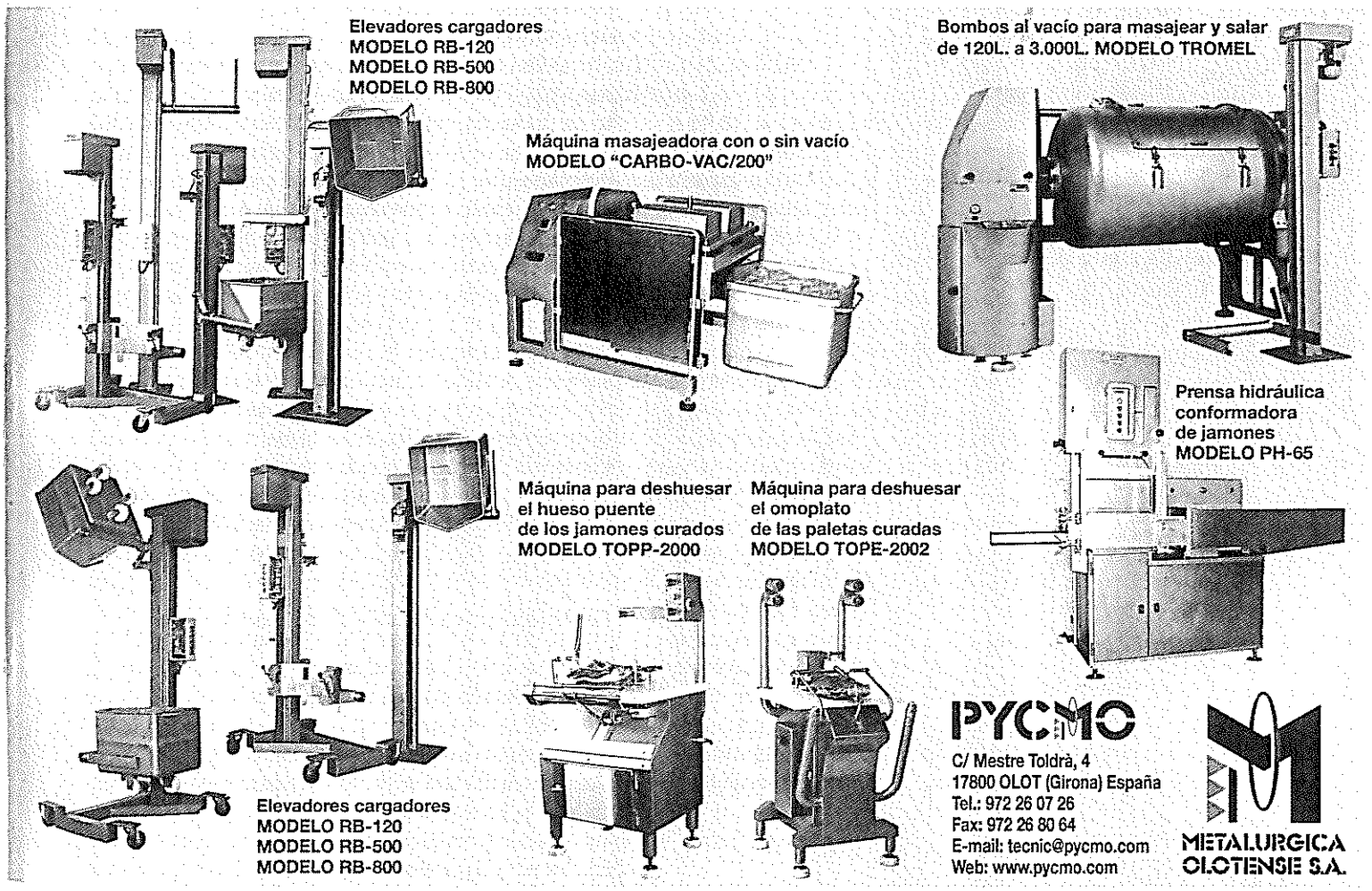
En el salado individual de jamones con una cantidad limitada de sal, aquellas partes con menor capacidad de retención de agua forman más salmuera, la cual desagua con mayor rapidez, de forma que no es absorbida. Esto justificaría el mayor porcentaje de sal absorbido cuando el pH es superior a 6,2 que cuando es normal o bajo, tanto en músculos salados al vacío (Ruiz-Ramírez y col., 2005) como en jamones salados mediante una cantidad limitada de sal (Poma, 1991).

Redistribución de la sal en el jamón durante el secado-maduración y bodega

Para disminuir la variabilidad del contenido de sal dentro del jamón, debe aplicarse un proceso de secado gradual que mantenga un gradiente de humedad pequeño dentro del producto. De esta forma se evitará que la sal se concentre en las zonas más húmedas del interior que darían lugar a un producto que localmente sería excesivamente salado. Los factores que pueden contribuir a lograr un secado homogéneo son: condiciones suaves de secado (temperatura, HR y velocidad del aire), un enmantecado adecuado al tipo de producto y proceso, el prensado de los jamones y un tiempo prolongado de secado. En aquellos jamones con poca grasa infiltrada y mucha grasa intermuscular puede resultar difícil conseguir un secado homogéneo, ya que la zona externa se seca rápidamente y la interna muy lentamente.

También se pueden homogeneizar los contenidos de sal y de agua dejando que los jamones curados, una vez deshuesados permanezcan envasados al vacío durante varias semanas.

Por otra parte, se ha observado que considerando todo el magro del jamón, el contenido de sal en base seca aumenta durante el proceso. Así por ejemplo, Boadas y col., (2000) encontraron, en jamón sin pata, que del con-



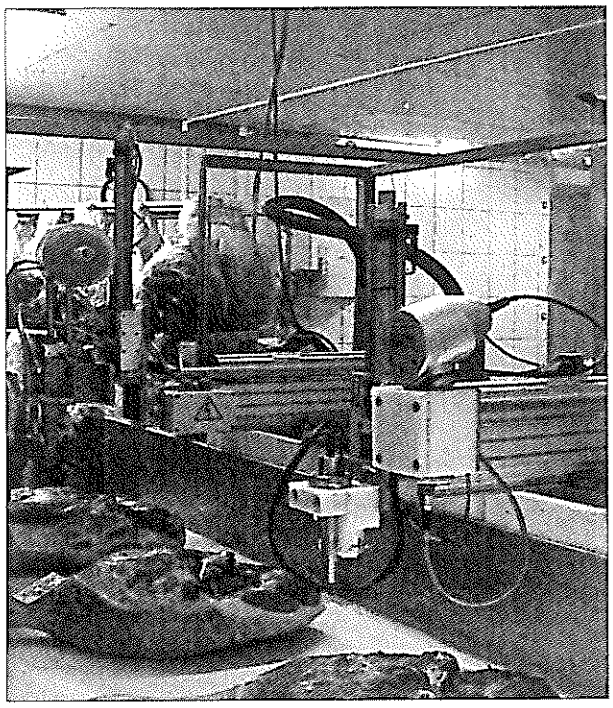


Figura 8. Sistema de selección de la materia prima.

tenido total de sal absorbido por el jamón al final del salado, el 79,82 % correspondía al magro y el 20,18 % al resto formado por corteza, huesos y grasa subcutánea e intermuscular. A los 180 días el 91,38 % correspondía al magro y el 8,62 % al resto. Por lo tanto, el contenido de sal global del magro, después del salado, tan solo es un buen predictor del contenido final de sal del jamón, si se considera el aporte de las zonas no musculares.

El aporte de sal desde la pata (**figura 7**), también puede aumentar el contenido de sal en procesos de larga curación, como los que tienen lugar en jamones de cerdo ibérico, en los que si bien no contribuiría a estabilizar el jamón durante el reposo, podría aumentar el sabor salado durante la fase de bodega, especialmente cuando la humedad media fuera superior al 75 %, ya que entonces se produce la hidratación de la pata y la formación de una salmuera saturada que puede gotear o difundirse a la zona magra. Sin embargo, en procesos de 6 y 12 meses a una HR media de secado del 60 % no se han observado diferencias en el contenido de sal entre los jamones curados con y sin pata (Boadas y col., 2000a). Una forma de reducir el contenido de sal de la zona de la pata sería cubrir esta zona con sal tan solo durante una parte del período de salado, completando el resto del tiempo con un aporte de sal limitado al resto del jamón excluyendo la pata.

Factores a tener en cuenta para disminuir la variabilidad del contenido de sal en el jamón curado

Para disminuir la variabilidad del contenido de sal debe aumentarse la homogeneidad de la materia prima en aquellos aspectos que condicionan la formación de la salmuera superficial y la difusión de los iones sodio y cloruro (tipo de corte, pulido, espesor, forma, contenido de grasa, pH, CRA de los músculos, tipo de congelación-descongelación y humedad superficial del magro, la grasa y la corteza). Es importante clasificar los jamones por pesos para uniformizar la absorción de sal, tanto para definir con buena exactitud el tiempo durante el que deben estar cubiertos de sal en procesos de salado en pila, como en el salado con una cantidad de sal limitada, ya que en este caso las piezas pequeñas tienen una mayor relación superficie/volumen que las grandes y pueden absorber sal con mayor rapidez, lo cual aumenta la heterogeneidad del contenido de sal entre jamones.

Por otra parte es importante asegurar la uniformidad de la mezcla de presalado y de la sal de salazón (granulometría, composición), del sistema de salado y del ambiente (distribución de temperatura y HR) durante el reposo, el secado-maduración y la bodega. El impacto de cualquier modificación tecnológica en la variabilidad del contenido de sal debe evaluarse en un elevado número de jamones de diversos lotes, teniendo en cuenta el contenido total de sal del jamón. La evaluación del contenido de sal local puede dar idea de la difusión de la sal o de su distribución en el jamón, pero no necesariamente de la homogeneidad entre jamones.

Para poder reducir la variabilidad del contenido de sal entre jamones y aumentar la seguridad, especialmente cuando se desea disminuir de forma importante el contenido de sal, sería interesante desarrollar métodos no destructivos que permitieran eliminar los jamones que tuvieran una cantidad de sal insuficiente para poder tener un producto estable al final del proceso.

Factores que afectan al gusto salado

El gusto salado viene determinado por:

• El contenido total de sal del jamón y de su distribución en los diferentes músculos. Es común encontrar productos con sabor salado correcto en el exterior pero excesivo en el interior. Ello está asociado a un secado poco homogéneo que facilita que la sal vaya migrando de las zonas exteriores más secas a las interiores más húmedas para lograr equilibrar el contenido de sal en fase

acuosa (Arnau y col., 1995). Por el contrario, en los procesos de maduración rápidos, el sabor salado suele ser más intenso en los músculos de la zona exterior que en los de la zona interior ya que la sal no tiene tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio. En lonchas de jamón envasadas durante un período prolongado en atmósfera modificada se produce un aumento del gusto salado (Cilla y col., 2006), debido a la deshidratación adicional que se origina en las puntas y en la parte más finas de las lonchas, y en zonas del envase con mayor espacio de cabeza, especialmente cuando dichos envases se colocan en posición vertical, con iluminación intensa por la parte superior y refrigeración por la zona inferior, donde tiene lugar la condensación del agua (Arnau, 2006).

• La cantidad de azúcares que reducen la absorción o matizan el gusto salado (Boadas y col., 2000b). También existen aromas comerciales que permiten disminuir la percepción del gusto salado. Por contra, según Careri y col., (1993) el sabor salado puede aumentar por la presencia de substancias procedentes de la proteolisis como el ácido glutámico.

• El contenido en grasa, ya que hace que las papilas gustativas sean menos sensibles al gusto salado. Sin embargo, al aumentar el contenido en sal, el gusto salado aumenta más rápidamente en los productos grasos que en los productos magros. Además Sárraga y col. (2007) sugieren que la composición en ácidos grasos también podría afectar a la percepción del sabor salado.

• El grado de unión que tienen los iones sodio y cloruro con las proteínas de la carne puede verse disminuido por el tratamiento por alta presión (Tanzi y col., 2004) y también por una temperatura elevada. Al disminuir la unión de estos iones con la proteína se produce un aumento del gusto salado.

• La cantidad habitual de sal ingerida. Así, cuando se sigue una dieta baja en sal durante unas semanas o meses, se acostumbra al sabor y aroma suave de los productos con poca sal. Sin embargo, los consumidores se acostumbran más rápidamente al sabor de los productos salados que al de los productos con bajo contenido de sal (Bertino et al., 1982, 1986). Por tanto, para lograr una reducción efectiva, ésta debe efectuarse de forma progresiva durante varios meses, sin cambios bruscos en las composiciones, para lograr que los consumidores se acostumbren a menores contenidos de sal.

Importancia de la fase de salazón en la estabilidad del jamón curado

La estabilidad del jamón curado depende de diversos factores, entre los que destacan: una carga microbiana inicial baja, un $pH_{24} < 6,2$ en el músculo *semimembranosus*, una estructura de la pieza intacta de forma que no puedan penetrar los microorganismos superficiales y de una serie de obstáculos (adición de nitrito, temperatura y a_w bajas) que deben ser aplicados lo antes posible. Así pues se pueden prácticamente eliminar los jamones denominados de "calas" mediante:

• El uso de una materia prima seleccionada de salas de despiece con una baja carga microbiana, que ha sufrido un proceso rápido de refrigeración y que tiene un $pH_{24} < 6,2$ (Guerrero y col., 1991).

• La selección de materia prima sin daños en la estructura producidos por golpes, presiones excesivas, ganchos, sondas...

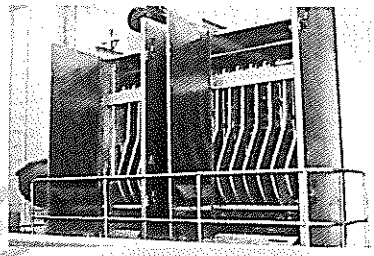
• La adición de nitrito en el período de presalado.

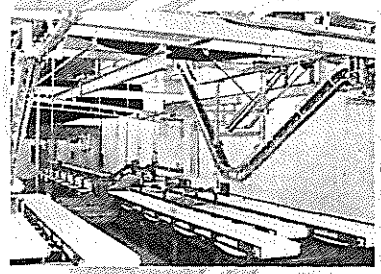
MECANOVA

TECNOLOGIA
PARA LA INDUSTRIA CARNICA

Ofrecemos:

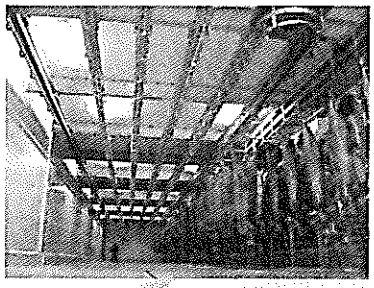
Líneas completas de matanza: porcino, vacuno y ovino





Salas de despiece, automatizadas

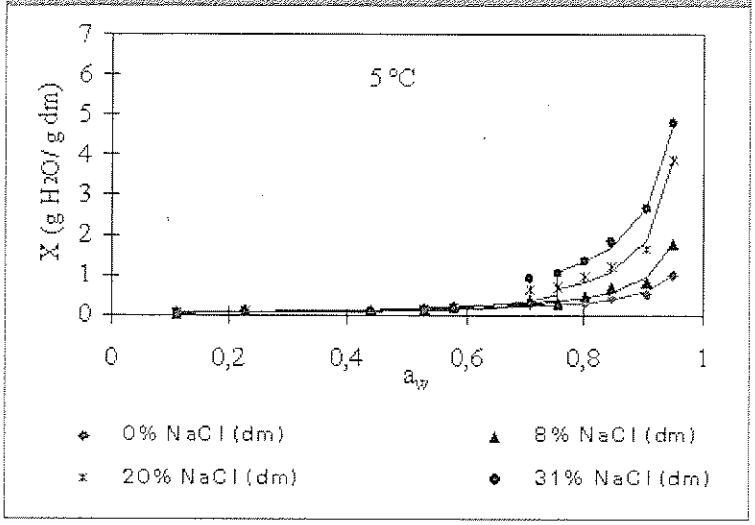
Equipamiento de fábricas de elaborados cárnicos



Sistemas de transporte en cámaras frigoríficas y salas de oreo

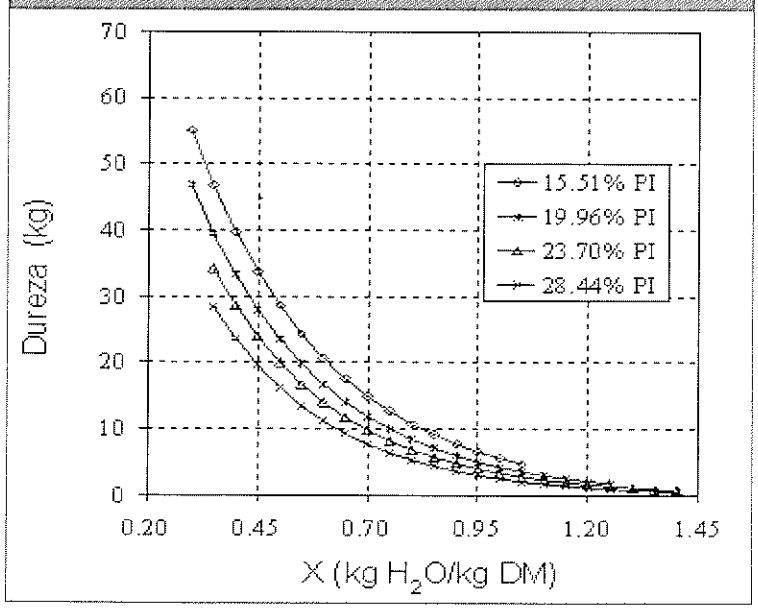
Mecanova, S.A.
edificio Cemar, plaza de Grecia, 1
portal 2, planta 2ª, oficina 38
45005 Toledo (Spain)
Tel. +34 925 333 000 • Fax +34 925 333 013
e-mail: comercial@mecanova.es
www.mecanova.es

Figura 9. Isotermas a 5° C de carne con distintos contenidos de sal



• El apilado con sal lo más pronto posible y la aplicación de una etapa de reposo prolongada (T < 5 °C, HR < 80 %), acorde con el contenido de sal añadido y que permita una distribución homogénea de la sal desde la superficie hacia los puntos más internos del jamón. 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), aumentaría la incidencia de texturas blandas y facilitaría una proteolisis excesiva en los jamones con elevado potencial proteolítico y $pH_{24} < 5,6$ (Virgili y Schivazappa, 2002; García-Rey y col., 2004).

Figura 10. Relación entre la dureza y el contenido de agua a distintos índices de proteolisis



Factores a tener en cuenta en la reducción del contenido de sal

Para disminuir el contenido de sal del jamón curado se puede reducir la cantidad de sal (Baldini y col., 1984) o substituirla parcialmente por otras substancias como el KCl y el lactato potásico (Keeton, 1984; Gou y col., 1996; Gelabert y col., 1998), combinadas con substancias que enmascaran su sabor amargo. Sin embargo, para efectuar una disminución importante debe tenerse en cuenta el efecto que tiene la sal en la seguridad, la textura, el aspecto y el flavor.

Para alcanzar este objetivo pueden ser útiles las siguientes recomendaciones:

• Seleccionar mediante métodos de genética molecular animales con bajo potencial proteolítico y establecer unas condiciones de cría de los animales que disminuyan dicho potencial, de forma que se obtenga una materia prima que genere pocos problemas de textura blanda, pastosa y adhesiva, de precipitados de tirosina y de sabores amargos.

• Seleccionar la materia prima según parámetros (pH, impedancia...) que hagan que sea menos susceptible a presentar una proteolisis elevada (García-Rey y col., 2004; Guerrero y col., 2004) (**figura 8**).

• Evaluar la incidencia de jamones con texturas pastosas a lo largo del año. Las diferencias estacionales podrían ser debidas a la variación del potencial proteolítico (Virgili y Schivazappa, 2002), del pH de la carne según el tipo genético (García-Rey y col., 2006), de las condiciones de manejo durante el período *ante-mortem* (Guardia, 2003), de las condiciones de salado o de la temperatura de proceso (Arnau y col., 1997; Andrés y col., 2004). El conocimiento de estas diferencias podría permitir adecuar los procesos para obtener un producto más homogéneo.

• Salar partes del jamón para acelerar el proceso de salazón, y reconstituirlas cuando hayan absorbido la sal.

• Tener en cuenta que el KCl cristaliza a HR < 87,7 a 5 °C y a HR < 84,3 a 25 °C, lo cual puede ocasionar cristalizaciones de KCl en superficie en las condiciones habituales de secado. Por otra parte, en jamo-

nes en los que se ha añadido KCl, puede aumentar el sabor amargo cuando se produzca un gradiente de humedad elevado entre el interior y el exterior.

• Adaptar las condiciones ambientales del proceso de reposo y de secado-maduración ya que a una misma HR, la superficie del jamón es más susceptible al encostrado si el contenido de sal es menor. Ello es debido a que, a una temperatura dada, el contenido de sal afecta a la relación entre la a_w y la humedad en el equilibrio (Comaposada y col., 2000a, b) (figura 9) y también a la relación entre la dureza y la a_w o el contenido de agua (Ruiz-Ramírez y col., 2006).

• Adaptar las condiciones ambientales del proceso de reposo y de secado-maduración y rendimiento de proceso, para que el producto tenga una textura interna adecuada, ya que cuanto menor es el contenido en sal, el jamón es menos fibroso (Andrés y col., 2004), y más blando, pastoso y adhesivo (Parolari 1994; Arnau y col., 1997; Gelabert 2000; Gelabert y col., 1998) como consecuencia del efecto inhibidor de la sal sobre la actividad de las enzimas proteolíticas (Sárraga y col., 1989; Rico y col., 1991; Arnau y col., 1998). Asimismo, cuanto mayor es el índice de proteolisis, mayor debe ser la merma para obtener una textura definida (Ruiz-Ramírez y col., 2006) (figura 10).

• Adaptar el tiempo y la temperatura de la etapa de reposo y secado-maduración y utilizar tratamientos adicionales como, por ejemplo, el de alta presión para lograr que el producto siga siendo seguro y estable en las condiciones normales de comercialización y consumo (Grèbol, 2005; Serra y col., 2006). La realización de "challenge test" con los microorganismos más críticos puede ser útil para validar los nuevos procesos propuestos.

• Evitar el velo blanco mediante la combinación de la congelación del jamón con un almacenamiento posterior a una temperatura inferior a la de comercialización. Con ello se logran formar núcleos de cristalización de tirosina durante la congelación lo cual permite que precipite una elevada cantidad de tirosina libre y se evite su precipitación posterior en la superficie de corte (Arnau y Lloret, 2007) (figura 11).

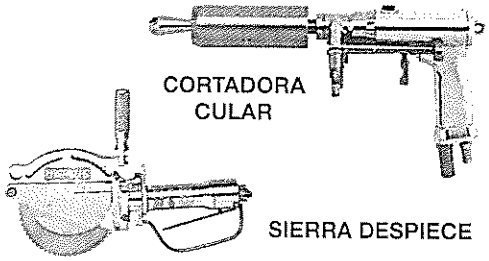
• Añadir potenciadores de sabor o aromas que potencien el flavor del jamón con baja cantidad de sal, ya que por una parte la sal actúa como saborizante y por otra modifica el aroma global del producto debido a su acción sobre la generación de aroma y sobre la composición del perfil de volátiles.

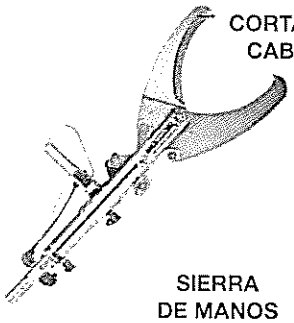
Así pues, se puede concluir que la salazón es una etapa crítica para evitar el crecimiento de microorganismos indeseables y para el desarrollo posterior de las características sensoriales por las que se aprecia el jamón curado. Las investigaciones para reducir el contenido de sodio en la elaboración de jamón curado deben permitir seleccionar una materia prima adecuada, mantener unos buenos niveles de seguridad y estabilidad y obtener un producto con unas características sensoriales aceptables desde el punto de vista del consumidor.

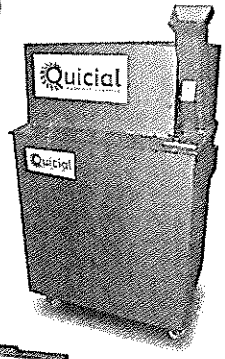
Agradecimientos

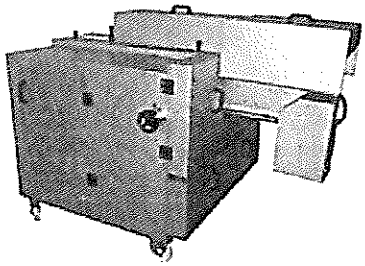
Al Ministerio de Ciencia y Tecnología (proyecto de investigación RTA01-074) y a la Comisión de la Unión Europea (proyecto integrado "TRUEFOOD", Contrato nº 016264-2, Coordinador SPES, www.truefood.eu).

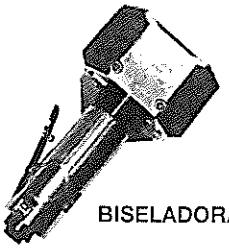
JARVIS
THE WORLD LEADING MEAT PROCESSING MACHINERY MANUFACTURER







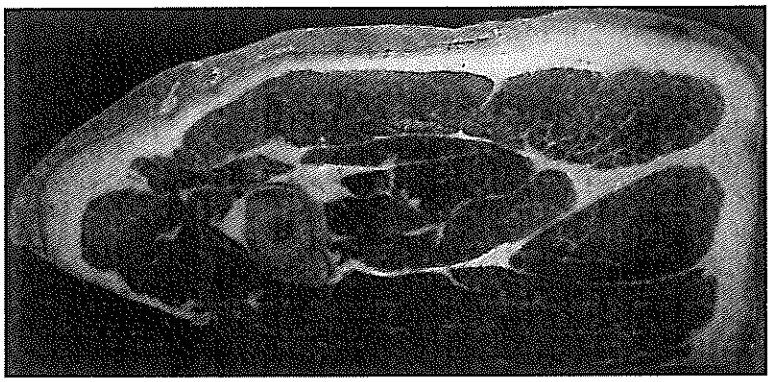




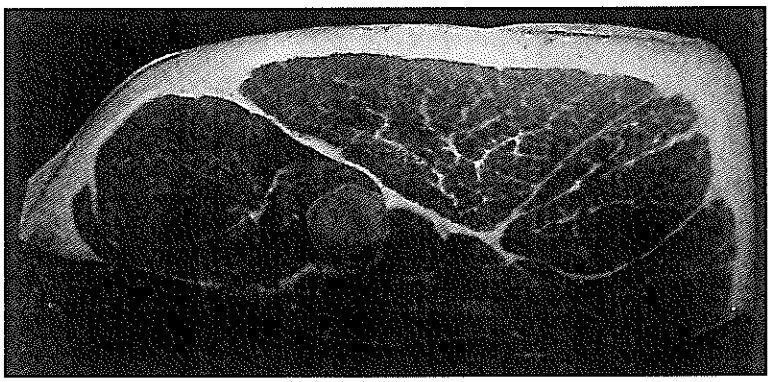
Quicial
maquinaria cárnica

DISTRIBUIDORES EXCLUSIVOS PARA ESPAÑA Y PORTUGAL
C/ Pep Ventura, 51
17800 Olot (Girona)
Telf.: 972 26 82 85 • Fax: 972 27 49 19
www.quicial.com
e-mail: mail@quicial.com

Figura 11. Prevención del velo blanco mediante la combinación de la congelación y el almacenamiento posterior entre -3 y -6,5 °C



Piezas congeladas (-17 ± 2° C).



Piezas congeladas (-62 ± 2° C).

Piezas no congeladas (control).

La información de este documento refleja sólo el punto de vista del autor. La Comunidad no es responsable del uso que se pueda hacer de la información contenida en el artículo.

Bibliografía

• Albarracín, W., Grau, R., Barat, J.M., Blesa, E., y Pagán, M.J. (2005). Influencia del apilado durante la etapa de salado de jamones. *III Congreso Mundial del Jamón*. Ed. Consejo Regulador de la Denominación de Origen "Jamón de Teruel", 421-423.

• Andújar, G., y Tarrazo, J. (1981). The rate of penetration of salt into meat. *Fleischwirschaft*. 61(9): 1366-1367.

• Andrés, A.I., Cava, R., Ventanas, J., Thovar, V., y Ruiz, J. (2004). Sensory characteristics of iberian ham: influence of salt content and processing conditions. *Meat Sci.* 68(1): 45-51.

• Arnau (2006). Aspectos a tener en cuenta en la conservación y consumo del jamón curado en sus distintas formas de presentación. EUROCARNE. 143: 153-162.

• Arnau, J., Gou, P., y Comaposada, J. (2003b). Effect of relative humidity of drying air during the resting period on the composition and appearance of dry-cured ham surface. Meat Sci. 65(4): 1275-1280.

• 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. of the Sci.* of Food and Agric. 74: 193-198

• Arnau, J., Guerrero, L., y Sárraga, C. (1998). The effect of green ham pH and NaCl concentration on cathepsin activities and sensory characteristics of dry-cured ham. *J. of the Sci. of Food and Agric*. 77: 387-392.

• Arnau, J., Guerrero, L., y Gou, P. (2003a). 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., Guerrero, L., Casademont, G., y Gou, P. (1995). Physical and chemical changes in different zones of normal and PSE dry-cured ham during processing. *Food Chem*. 52: 63-69.

• Arnau, J., Hugas, M., y Monfort, J.M. (1987). El jamón curado: aspectos técnicos. *Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries*. Barcelona.

• Arnau, J., y Lloret, E. (2007). . Poster presentado al IV Congreso Mundial del Jamón.

• 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 et Produits Carnés. 5(3) : 83-97.

• Barat, J.M., Grau, R., Ibáñez, J.B., Pagán, M.J., Flores, M., Toldrá, F. y Fito, P. (2006). Accelerated processing of