Nacameh ISSN 2007-0373
http://cbs.izt.uam.mx/nacameh/
Publicación electrónica arbitrada en Ciencia y Tecnología de la Carne

NACAMEH Vol. 16, No. 2, pp. 61-75, 2022

# Métodos de ablandamiento de la carne y su efecto sobre la textura

# Methods for meat tenderization and their effect on texture*

María de Lourdes Pérez-Chabela [1, ✉] Alfonso Totosaus [2]

*1 Departamento de Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco #86, Ciudad de México 09310, México. 2 Laboratorio y Planta Piloto de Alimentos, TecNM/TES Ecatepec. Av. Tecnológico esq. Av. Central s/n, Estado de México 55210, México. ✉ Autor de correspondencia: lpch@xanum.uam.mx*

**Resumen**

Un factor determinante en la calidad y precio de la carne es su blandura, la cual depende del tipo de musculo y su posición en la canal de res. Debido a que hay cortes que no pueden lograr una suavidad deseada por su posición anatómica, se han empleado diferentes técnicas de ablandamiento o tenderización, las cuales pueden ser mecánicas, eléctricas, químicas o enzimáticas, y dentro de estas hay aplicadas y emergentes. Las técnicas mecánicas solo afectan la calidad estructural de la carne, y las eléctricas, químicas o enzimáticas tienen la particularidad de reactivar los sistemas enzimáticos *in situ* musculares, encargados de llevar a cabo el ablandamiento de la carne durante la maduración después de la conversión de musculo a carne.

**Palabras clave**: maduración, enzimas, calpaínas, catepsinas, caspasas, marinación, textura

**Abstract**

A determinant factor in meat quality and price is meat softness, depending on muscle type and the position of the muscles in the carcass. Because there are meat cuts that cannot achieve a desirable softness due to their anatomical position, different softening or tenderness techniques have been employed, which can be mechanical, electric, chemical, or enzymatic, and within these, there are applied and emergent. The mechanical techniques only affect the structural meat quality, and the electrical, chemical, or enzymatic have the

Recibido: 03/06/2022. Aceptado: 20/12/2022
https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/nacameh/2022v16n2/Perez

Casa abierta al tiempo

particularity to reactivate the *in situ* enzymatic systems, in charge of the meat softening during the muscle to meat conversion.

**Keywords**: maturation, enzymes, calpains, cathepsins, caspases, marination, texture

## INTRODUCCIÓN

### Medición de la textura de la carne

La textura de la carne es determinada con la técnica de la navaja Warner-Bratzler. De acuerdo con Girard y col. (2012), hay dos componentes principales que determinan la textura de la carne, y son las miofibrillas y el tejido conectivo. En la Figura 1 se muestra una típica curva de la determinación de la fuerza máxima con la navaja Warner-Bratzler, donde los picos de carga detectados antes de la fuerza máxima corresponden putativamente al componente miofibrilar, el cual implica la resistencia de la estructura miofibrilar (fibra muscular) y el estado de contracción del musculo (largo del sarcómero), además de tener cierta influencia el tipo de fibra muscular, y edad del animal. Después del pico de fuerza máxima, está el componente de deformación que representa la red de tejido conectivo, comprendiendo el contenido total de colágena y su solubilidad, donde también la raza y la edad del animal tienen influencia sobre la solubilidad de la colágena.

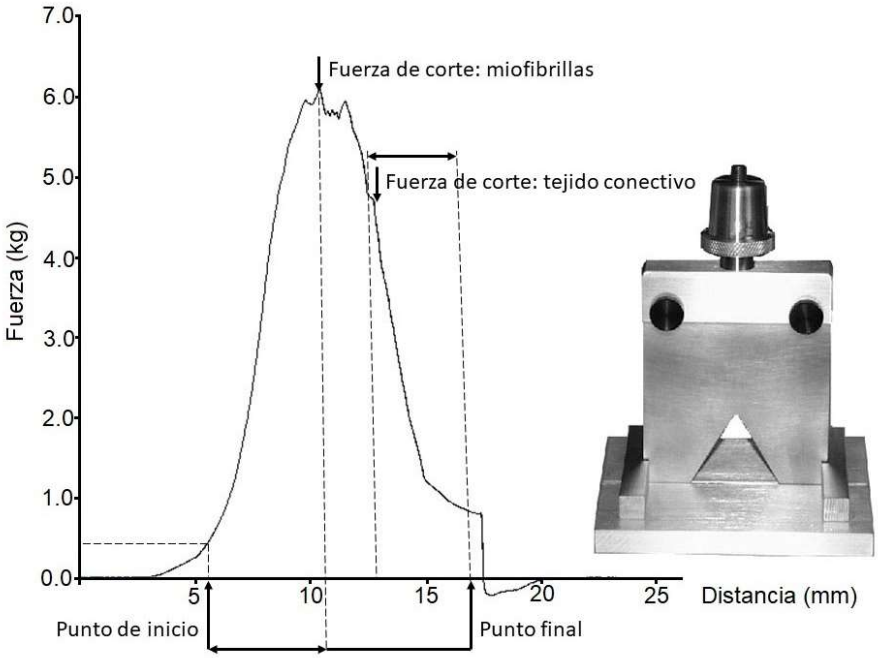


**Figura 1. Curva típica de la determinación de la fuerza de corte con la navaja Warner-Bratzler mostrando los dos componentes estructurales que la influencian.**

Por lo tanto, al hablar de la textura (dureza o suavidad) de la carne además el componente miofibrilar, influenciado por el largo del sarcómero como indicador de la glucolisis *post-mortem* y pH final. El proceso de maduración durante la conversión de músculo a carne, el componente de la red de tejido conectivo tiene una gran influencia, sobre todo por el tipo de musculo (posición en la canal), que determina su dureza. Por ejemplo, en una interesante publicación de Velazco (1999) se hace una clasificación de los músculos por su fuerza de corte en crudo y en cocido, dándole un valor de grado de suavidad basado en estos valores. Entonces, un músculo muy suave como el *Longisimus dorsi* tiene un valor de fuerza de corte en crudo de 3.77 kg, y en cocido de 2.41, siendo muy suave. En contraste, el musculo *Cutaneous trunchi* (suadero) tiene un valor de fuerza máxima en crudo de 6.27, y en cocido de 11.82, siendo un musculo muy duro. Esto es debido a la cantidad y tipo de colágena presente, ya que en los músculos suaves la colágena se gelatiniza y se vuelve más suave. En los músculos que tienen una función motora o estructural, como el *Cutaneous trunchi* que cubre el vientre de las reses, y ya que esta se distiende durante la digestión, este músculo debe ser muy resistente, por lo que la cantidad y tipo de colágena presente no gelatiniza, sino que se contrae, aumentando la dureza del músculo.

**Proteólisis *post-mortem* y sistemas enzimáticos *in situ***

El ablandamiento de la carne esta unánimemente reconocido por la comunidad científica como resultado de la proteólisis de las proteínas musculares por 3 sistemas ampliamente estudiados, que son las catepsinas (De Duve y col, 1955), calpaínas o peptidasas dependientes del calcio (Guroff, 1964) y las proteasomas (Wilk y Orlowski, 1980) y recientemente, las caspasas (Fuentes-Prior y Salvesen, 2004). Es decir, que apenas han pasado 80 años desde que la proteólisis endógena fue asociada al desarrollo *post-mortem* de la blandura de la carne.

Teóricamente, las enzimas endógenas del musculo tendrían un accionar secuenciado sobre las proteínas miofibrilares después del sacrificio y la muerte celular, donde las primeras en activarse son las calpaínas (liberación del calcio por el retículo sarcoplasmático), luego las catepsinas (disminución del pH celular). Sin embargo, de acuerdo con Herrera-Méndez y col. (2006), el ablandamiento de la carne resulta del debilitamiento de la estructura miofibrilar por la acción sinérgica de las peptidasas endógenas incluyendo las catepsinas, las calpaínas y los proteasomas; y aunque hoy en día las calpaínas se consideran como el principal sistema proteolítico responsable del ablandamiento de la carne, no podría ser totalmente responsable de todos los cambios *post-mortem* del músculo, sobre todo si se reconsidera este proceso mediante la introducción de la muerte celular programada, donde las primeras peptidasas activas después del sangrado animal serían las caspasas.

***Calpaínas***

El sistema de las calpaínas consiste en las proteasas endógenas (calpaína 1, antes μ-calpaína, y calpaína 2, antes m-calpaína, y calpaína 3 o p94, junto con su inhibidor, la

calpastatina) consideradas como las primeras en actuar en la degradación de las proteínas durante las primeras 24 h post-mortem. Las calpaínas degradan específicamente proteínas de los filamentos intermediarios, como desmina, y proteínas estructurales, como la titina, y con mínimo efecto sobre miosina y actina. La importancia de las calpaínas en carne dura surge del efecto de los β-agonistas adrenérgicos involucrados en la conversión de proteínas musculares, disminuyendo su degradación por una elevada actividad de la calpastatina. La inhibición de las calpaínas por la calpastatina es también dependiente del calcio (Baht y col., 2018b).

***Catepsinas***

Las catepsinas son un grupo de enzimas tanto exo- como endopeptidasas categorizadas en 3 familias: cistein (catepsinas B, H, L y X), aspárticas (catepsinas D y E) y serin (catepsina G), las cuales no han sido estrechamente relacionadas con el ablandamiento de la carne por tres razones. Primero, durante la maduración no hay una degradación de actina y miosina, además de no tener un pH óptimo; segundo, al ser enzimas lisosomales deberían ser por lo tanto liberadas, pero al entrar la canal en rigor, las bombas de iones fallan en las membranas debido al agotamiento del ATP, sin poder entonces ser liberadas; y tercero, hay poca asociación entre la actividad de las catepsinas y las variaciones en la blandura de la carne. A pesar de esta evidencia, las catepsinas hidrolizan una gran cantidad de proteínas miofibrilares como la troponina T, I y C, nebulina, titina y tropomiosina, así como actina y miosina durante el proceso de maduración de la carne (Kemp y col., 2010).

***Caspasas***

La activación de las caspasas en el músculo *post-mort*em implica el inicio de un proceso de muerte muscular caspasa-dependiente después del desangrado del animal, donde la necrosis y la apoptosis son las dos mayores vías de muerte celular. La externalización de la fosfatidilserina junto con la degradación de los filamentos delgados de actina demuestra que las células se suicidan tan pronto como el animal se desangra en la apoptosis, es decir, la conversión de musculo a carne comienza a los pocos minutos con el proceso apoptótico afectando la calidad de la carne en suavidad, color, sabor y jugosidad (Becila y col., 2010). Las caspasas contribuyen a la proteólisis *post-mortem* y ablandamiento de la carne hidrolizando proteínas miofibrilares durante la apoptosis (Ouali y col., 2006).

***Hidrólisis de la colágena***

Aunado a la proteólisis por el sistema enzimático endógeno, está también la degradación de la colágena. La fuerza e integridad estructural de las fibras de colágena es estabilizada por el proteoglicano, el cual se degrada durante el almacenamiento *post-mortem* durante el ablandamiento de la carne, al exponer grupos reactivos para su potencial degradación por enzimas tales como la glucosidasa lisosomal o la β-glucuronidasa (Nishimura, 2015). Otra teoría es este respecto propone que hay dos tipos de tejido conectivo, uno débil que

se degrada durante la maduración *post-mortem*, y durante el cocimiento, como parte del ablandamiento de la carne; y otro más resistente, el cual no se ve afectado por enzimas proteolíticas y define parte de la dureza de la carne (Purslow, 2014).

De este modo, el interés de la industria y la academia es mejorar la textura de cortes que incluyen músculos que no son suaves. Hay varias tecnologías que se usan para aumentar la suavidad de la carne, las cuales serán revisadas en este artículo.

## TECNOLOGÍAS PARA MEJORAR EL ABLANDAMIENTO

La industria cárnica ha desarrollado varias tecnologías que se pueden clasificar primeramente en aplicadas o emergentes, donde las aplicadas son ya desde hace tiempo utilizadas a nivel industrial, y las emergentes que están en proceso de. A su vez, estas tecnologías se pueden clasificar en eléctricas, mecánicas, químicas o enzimáticas (Tabla 1).

### Tecnologías eléctricas

En la búsqueda de la aceleración del proceso de maduración se han propuesto y aplican varias tecnologías. Las tecnologías eléctricas incluyen la estimulación eléctrica de la canal (aplicada) y los campos de pulsos eléctricos (emergente). La estimulación eléctrica acelera el proceso de glucolisis *post-mortem* con la consecuente producción de ácido láctico, asegurando que el pH de la carne caiga debajo de 6.0 antes de que el músculo alcance una temperatura de 10°C, además de también afectar la membraba lisosomal y liberar las catepsinas a un pH bajo y temperatura alta. Los campos de pulsos eléctricos tienen la habilidad de alterar las propiedades de la membrana con el potencial de afectar la actividad de calpaínas y consecuentemente, su influencia en la proteólisis (Bhat y col., 2018a).

A partir de estudios del efecto de la estimulación eléctrica sobre el modelamiento del ablandamiento de la carne, Dransfield y col. (1992a) establecieron que no con conocían los cambios estructurales responsables de los mecanismos enzimáticos que inducen el ablandamiento ("*We do not know the structural changes responsible for the enzyme mechanisms inducing tenderization*"); por lo que en estudios posteriores determinaron los niveles de calpaínas I y II, catepsinas B y L, y β-glucoronidasa en *Pectoralis prondis* de res, encontrando que las enzimas lisosomales permanecieron prácticamente constantes, pero calpaína I mostro actividad constante, siendo relacionada al proceso de ablandamiento post-mortem (Dransfield y col., 1992b). La proteólisis de las proteínas y el ablandamiento continuaron a un ritmo gobernado proporcionalmente por la concentración de calpaína I, la cual es activada al caer el pH muscular a 6.1 (Dransfield, 1992c). Entonces, el mismo Dransfield (1993) explica que el ablandamiento es el resultado de las actividades de calpaínas "libres" activadas, cuyas actividades están controladas por los cambios en la concentración de calcio, la unión de las calpaínas a la calpastatina, y la inactivación de las

**Tabla 1. Comparación de las ventajas (☺👍) o desventajas (😐👎) de las técnicas tradicionales (maduración), mecánicas, eléctricas, químicas y enzimáticas, aplicadas o emergentes, para el ablandamiento de la carne. (Fuente: adaptada de Bhat y col., 2018).**

| Tecnologías | Aplicada o Emergente | Costos | Nivel de insumos técnicos | Consumo de energía | Tiempo de proceso | Manejo y posible contaminación cruzada | Aceptación por la industria | Efecto ablandador |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Maduración | Aplicada | 😐👎 | 😐👎 | ☺👍 | ☺👍 | 😐👎 | ☺👍 | ☺👍 |
| Mecánicas | | | | | | | | |
| Ablandamiento por cuchillas | Aplicada | 😐👎 | 😐👎 | 😐👎 | ☺👍 | 😐👎 | 😐👎 | 😐👎 |
| Ablandamiento por agujas | Aplicada | 😐👎 | 😐👎 | 😐👎 | 😐👎 | ☺👍 | ☺👍 | ☺👍 |
| Masajeo | Aplicada | 😐👎 | 😐👎 | ☺👍 | ☺👍 | ☺👍 | ☺👍 | ☺👍 |
| Altas presiones | Emergente | ☺👍 | ☺👍 | ☺👍 | 😐👎 | 😐👎 | 😐👎 | ☺👍 |
| Presión hidrodinámica | Emergente | ☺👍 | ☺👍 | 😐👎 | 😐👎 | 😐👎 | 😐👎 | ☺👍 |
| Ultrasonido | Emergente | ☺👍 | ☺👍 | ☺👍 | 😐👎 | 😐👎 | 😐👎 | ☺👍 |
| Eléctricas | | | | | | | | |
| Estimulación eléctrica | Aplicada | 😐👎 | 😐👎 | 😐👎 | 😐👎 | 😐👎 | ☺👍 | ☺👍 |
| Campos de pulsos eléctricos | Emergente | ☺👍 | ☺👍 | 😐👎 | 😐👎 | 😐👎 | 😐👎 | ☺👍 |
| Químicas | | | | | | | | |
| Marinación | Aplicada | 😐👎 | 😐👎 | 😐👎 | ☺👍 | ☺👍 | ☺👍 | ☺👍 |
| Enzimática | | | | | | | | |
| Enzimas exógenas | Aplicada | 😐👎 | ☺👍 | 😐👎 | ☺👍 | ☺👍 | 😐👎 | ☺👍 |

calpaínas “libres” y su proteólisis por la calpastatina; ya que la calpastatina al ser inhibidor de las calpaínas afectan el ablandamiento si sus niveles se incrementan durante la maduración, incrementando la dureza marginalmente. Entonces el ablandamiento es el resultado de la proteólisis neta la cual está gobernada por las actividades relativas de y la inactivación intramolecular de las calpaínas, y su velocidad de inactivación depende interactivamente de la temperatura y el pH, por lo que las variaciones en la textura de la carne surgen de las variantes durante la producción de los animales, el congelamiento y la maduración, junto con sus interacciones (Dransfield, 1994a). Por lo tanto, el conocer los mecanismos de ablandamiento permitió y permitirá optimizar los procesos para mejorar la textura de la carne (Dransfield, 1994b). Esto aplica a la reactivación después del periodo de maduración de las calpaínas, establecidas como las enzimas más importantes en el ablandamiento *post-mortem* de la carne.

**Tecnologías mecánicas**

Las técnicas mecánicas se basan en el rompimiento de los músculos al aplicar una fuerza mecánica. La carne molida es un ejemplo, pero son cortes duros de bajo valor comercial, de ahí su relativamente bajo precio. Las técnicas aplicadas son el utilizar cuchillas o agujas para la destrucción parcial del tejido conectivo y de varias fibras musculares (pero el manejo de la carne puede tener problemas de contaminación) o el masajeo, el cual consiste en “golpear” trozos de carne en un tambor rotatorio, donde la carne al girar gana energía por fricción y caída libre, con el rompimiento de la estructura celular y el aumento en la extracción y solubilización de proteína muscular.

Las técnicas emergentes incluyen la aplicación de altas presiones hidrostáticas, presión hidrodinámica y el ultrasonido. las altas presiones hidrostáticas es una técnica relativamente novedosa donde la presión ejercida bajo condiciones isostáticas tiene un efecto en el ablandamiento de la carne atribuido al impacto instantáneo de las ondas sobre la microestructura de la carne provocando cambios en la integridad de la célula muscular. En la aplicación de presión hidrodinámica las ondas de choque son pulsos de presión mecánica que se propagan a través de la carne, provocando un ‘efecto de ruptura’ que desintegra la estructura muscular debido a la disipación de la tensión mecánica en los límites de las impedancias acústicas, resultando en una mayor suavidad casi instantáneamente. El ultrasonido se usa para modificar o romper las membranas o estructuras celulares y acelerar ciertas reacciones químicas (Bhat y col., 2018a). Las técnicas mecánicas no afectan el proceso de maduración enzimático de la carne.

**Tecnologías químicas: marinación**

Los métodos químicos implican la incorporación de sales, ácidos orgánicos y fosfatos que pueden ser incorporados en la carne por inmersión o inyección, y tienen efecto sobre la suavidad de la carne. Los compuestos químicos añadidos afectan la estructura muscular

modificando la solubilidad de las proteínas o por acción de proteasas. Esto se logra mediante la marinación o inyección de estas soluciones.

Si bien hay varios tratamientos que se pueden llevar a cabo en la carne en *pre-rigor* durante su almacenamiento para mejorar el accionar de las enzimas musculares durante la maduración, estos más de las veces pueden implicar un costo extra que no todos los países o empresas utilizan. El costo de los cortes suaves (*Longissimus dorsi*, por ejemplo) puede que paguen el costo de un proceso de maduración decente, por decir algo, más no óptimo, dejando a gran parte de la canal como carne no tan suave, pero si consumible. Es aquí donde la marinación puede y tiene impacto en el valor agregado de cortes duros en la reactivación de la actividad remanente de las enzimas endógenas. Teóricamente, el uso de cloruro de calcio reactivará calpaínas, y el utilizar ácidos orgánicos reactivará catepsinas. El uso de enzimas exógenas tiene la particularidad de ser una hidrólisis no especifica, por lo que al exceder el tiempo de aplicación, se obtiene una masa pastosa en vez de un corte más suave.

***Marinación con soluciones salinas***

En la marinación de cortes duros como suadero, la carne aumenta su suavidad y, sobre todo, mejora la jugosidad y el rendimiento del producto, ya que los fosfatos utilizados interactúan con las proteínas incrementando su capacidad de retener agua, mejorando su aceptación sensorial (Huerta-Leidenz y col., 2016). La marinación de la carne también mejora la calidad microbiológica, donde la combinación de ácidos orgánicos se ve mejorada al agregar dodecilsulfato de sodio (Talat y col., 2019). La marinación con una solución salina de NaCl bajo altas presiones (200 MPa a 25°C) disminuyo la dureza y la fuerza de corte de la carne de pierna de cordero, como resultado de la modificación de la estructura del sarcómero (Xu y col., 2019).

La marinación de carne durante 48 h con una solución alcalina (2% de fosfatos) o una solución ácida (2% lactato de sodio) mejoró la capacidad de retención de agua y la fracción de proteínas solubles, relacionadas con una mayor proteólisis de proteínas. La solución alcalina inhibió la oxidación de lípidos, y la solución ácida tuvo un efecto prooxidante (Vlahova-Vangelova y col., 2017). La marinación por inyección con NaCl y lactato de sodio en músculo *pre-rigor* de *Longissimus dorsi* obtuvo mejor rendimiento y menores perdidas por cocción, además de mejorar la capacidad de retención de agua, donde las formulaciones con lactato (0.5 M) disminuyeron el pH (Fadıloğlu y Serdaroğlu, 2018).

***Marinación con soluciones de cloruro de calcio***

La marinación con cloruro de calcio y su efecto sobre la textura de la carne fue ampliamente estudiada por Koohmaraie y varios colaboradores a fines del siglo pasado. La activación de las calpaínas por la acción del calcio mejoró la suavidad de cortes de carne, principalmente m-calpaina y calpastatina (Whipple y Koohmaraie, 1992; Kendall y col., 1993; Wheeler y col., 1993; Whipple y Koohmaraie, 1993). El efecto de esta proteólisis se ve reflejada en la suavidad de la carne después de cocinar la carne, aunque un sabor residual acido puede

enmascarar otros sabores en cortes de res si se utiliza 150 mM de $CaCl_2$ (Pérez y col., 1997). La marinación con cloruro de calcio también mejoró la capacidad de retención de agua de la carne y por lo tanto las pérdidas al cocinarla al ácido cítrico (Klinhom y col., 2015). Canchola-Alvizo (2022) inyectó una solución 150 mM en músculos de pecho y aguja, mejorando notablemente la suavidad y rendimiento al freído de estos cortes.

***Marinación con vino o ácidos orgánicos***

La marinación con vino y varias especias a 4°C por 14 días mejoró la suavidad de la carne, hidrolizando proteínas miofibrilares y del tejido conectivo, en comparación con las muestras no marinadas (Istrati y col., 2012). Las mismas investigadoras también reportaron que la marinación de *Biceps femoris* con vino, especias y sazonadores disminuyeron las pérdidas por cocción y aumentaron la suavidad instrumental, debido al incremento en la solubilidad de las proteínas donde los ácidos orgánicos del vino reducen el pH aumentando la actividad de enzimas proteolíticas endógenas, catepsinas (Istrati y col., 2015). Aunque también marinando con vino, Arcanjo y col. (2019), reportaron que los componentes del vino son lo que inhiben el entrecruzamiento de proteínas para mejorar la suavidad de carne (*Longissimus dorsi*), y no la reactivación de catepsinas. Sin embargo, esto lo deducen determinando puentes disulfuro y bases de Shift, sin considerar que sus muestras fueron analizadas en crudo, y ambos componentes son resultado del efecto de la temperatura sobre el entrecruzamiento de cisteínas, y de la reacción entre azucares reductores, escasos en la carne, y aminoácidos, respectivamente.

En el uso de ácidos orgánicos para la marinación, en músculo *Semitendinosus* se utilizó una solución de ácido málico (5% p/v) a 4° hasta por 24 h disminuyó la fuerza de corte, además de aumentar la solubilidad de la colágena y las temperaturas de transición térmica de las proteínas (Wang y Tang, 2018). La marinación en ácido láctico utilizando jugo de papa inoculado con *P. acidilactici* KTU 05-7 o *P. pentosaceus* KTU 05-9 por inmersión durante 24 h, mejoró la textura y capacidad de retención de agua de carne cerdo, sobre todo en las muestras marinadas con *P. pentosaceus*, además de reducir la cantidad de aminas biogénicas (Mozuriene y col., 2016).

**Tecnologías enzimáticas: uso de enzimas exógenas**

Los métodos enzimáticos conllevan el mejorar la degradación de las proteínas musculares mediante enzimas endógenas, vegetales o microbianas, pero con el problema de tener que regular su actividad para no suavizar de más la carne (Bhat y col., 2018a). Las enzimas vegetales o microbianas son utilizadas para hidrolizar las proteínas de la carne, pero estas no tienen un punto de hidrolisis específico, por lo que su aplicación debe ser controlada para evitar un textura pastosa y pérdida de la capacidad de retención de agua. Los ablandadores comerciales son mezclas de varias proteasas vegetales. La Tabla 2 enlista las principales enzimas vegetales y microbianas empleadas en la industria cárnica.

**Tabla 2. Principales enzimas vegetales y microbianas utilizadas en para hidrolizar proteínas musculares. (Fuente: adaptada de Singh y col., 2019).**

| Enzima | Fuente | Temperatura óptima | pH óptimo |
|---|---|---|---|
| Papaina (EC 3.4.22.2) | Latex de la papaya (*Carica papaya*) | 65 °C | 5.0-8.0 |
| Ficin (EC3.4.22.3, MW = 26 kDa) | Latex del *Ficus glabrata*, *Ficus anthelmintica*, etcetera | 60-70 °C | 5.0 |
| Bromelina (EC 3.4.22.32, 24.5 kDa, corona, y EC 3.4.22.33, 25 kDa, del fruto). | Piña (*Ananas comosus*) | 50 °C | 6.0-8.5 |
| Actinidina o actinidaina (EC 3.4.22.14 | Kiwi (*Actinidai deliciosa*). | 58-62 °C | 7.3-7.6 |
| Proteasa (EC3.4.24.28) | *Bacillus subtilis* var. *amyloliquefaciens* | 50 °C | 7.0 |

El uso de bromelina al 1% por inmersión (cisteín-proteasa de corona de piña, pH óptimo 4.0-7.0, temperatura óptima 65-75 °C) aumentó la capacidad de retención de agua y disminuyó la fuerza de corte, degradando la cadena pesada de la miosina (Shin y col., 2019). La proteólisis durante el ablandamiento enzimático actúa como una “pre-digestion” y aumenta la extensión de la hidrólisis de las proteínas en res (4.5-17.3%) en la digestión gastrointestinal simulada utilizando proteinasa K o bromelina, aumentando la tasa de sobrevivencia de péptidos durante la digestión simulada, posiblemente debido al efecto de “interacción secundaria de enzima-sustrato” (Zhao y col., 2020). Otros extractos enzimáticos, como el de cáscara de melón (*Cucumis trigonus Rox-b*) se utilizó para mejorar la suavidad y calidad en general de toros mayores a 5 años, en comparación con papaína. La inyección de los extractos en salmuera (10% peso) aumentó la proteólisis y la solubilidad de proteínas miofibrilares en comparación con el control y las muestras con papaína, además de mejorar la aceptación sensorial en cuanto a suavidad y jugosidad (Zahir y col., 2019).

**Métodos combinados**

La combinación de varios métodos de ablandamiento puede mejorar la activación de las enzimas. El masajeo intermitente (12 h con 20 min encendido/10 min apagado, total masajeo de 8 h, 11 rpm, 90% de vacío a 2 °C) de lomo de cerdo mejoró la capacidad de retención de agua del músculo además de tener valores menores de dureza, en comparación con la marinación continua (8 h, 11 rpm, 90% de vació a 2 °C) o convencional (8h a 2°C), utilizando una solución salina (NaCl 1.80%, $Na_4P_2O_7$ 0.14%, $Na_5P_3O_{10}$ 0.08%, $(NaPO_3)_6$ 0.08%, y pimienta blanca en polvo 0.30%) (Gao y col., 2015).

Métodos emergentes también han sido aplicados. El tratamiento con pulsos de campos eléctricos reactivó mayormente la actividad de calpaína 2, más no la de calpaína 1, en carne *post-mortem* durante 14 días, degradando desmina y troponina T, aunque no hubo un ablandamiento de las muestras (Bhat y col., 2019). El efecto de altas presiones hidrostáticas (menores a 500 Mpa) para acelerar la absorción de la marinación en chuletas de cerdo puede ser utilizada como una barrera para extender la vida de anaquel, además de mejorar la textura (O´Neill y col., 2019). El uso de ultrasonido a través de una sonda (20 kHz, 25 $W/cm^2$) antes del almacenamiento a 4° C incrementó el índice de fragmentación miofibrilar y disminuyó la fuerza de corte en músculo *Semitendinosus*, debido a la estimulación de la proteólisis *post-mortem*, reflejada en la degradación de desmina y troponina T por calpaínas (Wang y col., 2018). Así mismo, el tratar la carne con cloruro de calcio (400 mM) y NaCl (100 mM) a 100 W de ultrasonido mejoró la suavidad de carne de res, determinada por la extensión del sarcómero (Wang y col., 2018).

## CONCLUSIÓN

La estimulación eléctrica es quizá la madre de los procesos de aceleración del ablandamiento, responsable como se verá más delante de la elucidación del proceso de proteólisis durante la maduración. La tecnología emergente de pulsos de campos eléctricos parece promisoria pero aún no es utilizada a nivel industrial, por su costo y necesidad de insumos. Las tecnologías mecánicas aplicadas son las tradicionales, donde la contaminación cruzada puede presentarse debido al manejo de la carne. El masajeo al utilizar energía eléctrica implica un costo relativamente elevado. Las tecnologías emergentes pues implican costos y tecnología Y aun no son accesibles totalmente, aunque las altas presiones ya se usan, pero en algunas industrias. Estas tienen la ventaja de reducir el riesgo de contaminación cruzada. Las dos tecnologías restantes, química (marinación) y enzimática, son aplicadas *post-mortem* para mejorar la textura de la carne, y aunque implican un tiempo de proceso y posible contaminación, son utilizadas en la industria para incrementar la calidad de algunos cortes, como medio de reactivar la actividad enzimática del músculo, aplicadas en el ablandamiento de la carne.

La marinación fue posiblemente un proceso culinario que despertó la curiosidad científica sobre por qué ocurría un ablandamiento en la carne después del proceso de maduración. Sin embargo, la marinación con cloruro de calcio en carne *post-rigor* ha sido la más estudiada, sobre todo a fines del siglo pasado, en la re-activación de las calpaínas, que si bien en el proceso de ablandamiento durante la maduración no son el todo responsables de la proteólisis de las proteínas musculares, si son las que tienen mayor actividad remanente en la búsqueda de alternativas para mejorar la calidad y palatabilidad de cortes de carne después del periodo de almacenamiento.

**ORCID**

*María de Lourdes Pérez Chabela* https://orcid.org/0000-0003-2161-4282

*Alfonso Totosaus* https://orcid.org/0000-0003-1965-9510

**REFERENCIAS**

ARCANJO NMO, D MORCUENDE, MJ ANDRADE, P PADILLA, MS MADRUGA, M ESTÉVEZ (2019). Bioactivities of wine components on marinated beef during aging. Journal of Functional Foods 57: 19-30.

BECILA S, H HERRERA-MENDEZ, G COULIS, R LABAS, T ASTRUC, B PICARD, A BOUDJELLAL, P PELISSIER, L BREMAUD, A OUALI (2010). Postmortem muscle cells die through apoptosis. European Food Research and Technology 231:485-493.

BHAT ZF, JD MORTON, SL MASON, AE-D A BEKHIT (2018a). Applied and emerging methods for meat tenderization: a comparative perspective. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 17: 841-859.

BHAT ZF, JD MORTON, SL MASON, AE-D A BEKHIT (2019). Pulsed electric field operates enzymatically by causing early activation of calpains in beef during ageing. Meat Science 153: 144-151.

BHAT ZF, MORTON JD, MASON SL, BEKHIT AE-DA (2018b). Role of calpain system in meat tenderness: a review. Food Science and Human Wellness 7(3): 196-204.

CANCHOLA-ALVIZO MG (2022). Marinación por inyección con cloruro de calcio como alternativa para mejorar la calidad al freído de Pecho y Aguja (cortes secundarios). Nacameh 16(1): 50-60.

DE DUVE C, BC PRESSMAN, R GIANETTO, R WATTIAUX, F APPELMANS (1955). Tissue fractionation studies. 6. Intracellular distribution patterns of enzymes in rat-liver tissue. Biochemical Journal 60: 604-617.

DRANSFIELD E (1992c). Modelling Post-mortem tenderisation-III: role of calpain I in conditioning. Meat Science 31: 85-94.

DRANSFIELD E (1993). Modelling post-mortem tenderisation-IV: role of calpains and calpastatin in conditioning. Meat Science 34: 217-234.

DRANSFIELD E (1994a). Modelling post-mortem tenderisation-V: inactivation of calpains. Meat Science 37: 391-409.

DRANSFIELD E 1994b. Optimisation of tenderisation, ageing and tenderness. Meat Science 36: 105-121.

DRANSFIELD E, DJ ETHERINGTON, MAJ TAYLOR (1992b). Modelling post-mortem tenderisation-II: enzyme changes during storage of electrically stimulated and non-stimulated beef. Meat Science 31: 75-84.

DRANSFIELD E, DK WAKEFIELD, ID PARKMAN (1992a). Modelling post-mortem tenderisation-I: texture of electrically stimulated and non-stimulated beef. Meat Science 31: 57-73.

FADILOĞLU EE, SERDAROĞLU M (2018). Effects of pre and post-rigor marinade injection on some quality parameters of *Longissimus dorsi* muscles. Korean Journal for Food Science of Animal Resources 38(2): 325-337.

FUENTES-PRIOR P, GS SALVESEN (2004). The protein structures that shape caspase-activity, specificity, activation, and inhibition. Biochemical Journal 384: 201-232.

GAO T, J LI, L ZHANG, Y JIANG, R MA, L SONG, F GAO, G ZHOU (2015). Effect of different tumbling marination treatments on the quality characteristics of prepared pork chops. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 28(2): 260-267.

GIRARD I, HL BRUCE, JA BASARAB, IL LARSEN, JL AALHUS (2012). Contribution of myofibrillar and connective tissue components to the Warner-Bratzler shear force of cooked beef. Meat Science 92: 775-782.

GUROFF G. (1964). A neutral, calcium-activated proteinase from the soluble fraction of rat brain. The Journal of Biological Chemistry 239: 149-155.

HERRERA-MENDEZ CH, S BECILA, A BOUDJELLAL, A OUALI (2006). Meat ageing: Reconsideration of the current concept. Trends in Food Science & Technology 17: 394-405.

HUERTA-LEIDENZ N, MS RUBIO LOZANO, C DIXON, AL VALDEZ, K BELK, S HOWARD, FA RUÍZ LÓPEZ (2016). Comparación de suadero de los Estados Unidos de América y de México con y sin tratamiento de marinación. Revista Mexicana de Ciencia Pecuaria 7(2): 253-262.

ISTRATI D, A IONESCU, C VIZIREANU, AMS CIUCIU, R DINICĂ (2012). The tenderization of bovine Biceps femoris muscle using marinades on the basis of wine. Romanian Biotechnological Letters 17(6): 7787-7795.

ISTRATI D, SIMION A-M C, C VIZIREANU, A IONESCU, J CARBALLO (2015). Impact of spices and wine-based marinades on tenderness, fragmentation of myofibrillar proteins and color stability in bovine biceps femoris muscle. Journal of Texture Studies 46: 455-466.

KEMP CM, PL SENSKY, RG BARDSLEY, PJ BUTTERY, T PARR (2010). Tenderness – An enzymatic view. Meat Science 84: 248-256.

KENDALL TL, M KOOHMARAIE, JR ARBONA, SE WILLIAMS, LL YOUNG (1993). Effect of pH and ionic strength on bovine m-calpain and calpastatin activity. Journal of Animal Science 71(1): 96-104.

KLINHOM P, J KLINHOM, J SENAPA, TS METHAWIWAT (2015). Improving the quality of citric acid and calcium chloride marinated culled cow meat. International Food Research Journal 22(4): 1410-1416.

KÜLTZ D (2003). Evolution of the cellular stress proteome: from monophyletic origin to ubiquitous function. Journal of Experimental Biology 206: 3119-3124.

MOZURIENE E., E BARTKIENE, V KRUNGLEVICIUTE, D ZADEIKE, G JUODEIKIENE, J DAMASIUS, A BALTUSNIKIENE (2016). Effect of natural marinade based on lactic acid bacteria on pork meat quality parameters and biogenic amine contents, LWT-Food Science and Technology 69: 319-326.

NISHIMURA T (2015). Role of extracellular matrix in development of skeletal muscle and postmortem aging of meat. Meat Science 109: 48-55.

O'NEILL CM, MC CRUZ-ROMERO, G DUFFY, JP KERRY (2019). Improving marinade absorption and shelf life of vacuum packed marinated pork chops through the application of high pressure processing as a hurdle. Food Packaging and Shelf Life 21: 100350.

OUALI A, CH HERRERA-MENDEZ, G COULIS, S BECILA, A BOUDJELLAL, L AUBRY, MA SENTANDREU (2006). Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. Meat Science 74: 44-58.

PÉREZ ML, H ESCALONA, I GUERRERO. (1998). Effect of calcium chloride marination on calpain and quality characteristics of meat from chicken, horse, cattle and rabbit. Meat Science 48(1): 125-134.

PURSLOW PP (2014). New developments on the role of intramuscular connective tissue in meat toughness. Annual Review of Food Science and Technology 5: 133-153.

SHIN H, HT KIM, M-J CHOI, E-Y KO. 2019. Effects of bromelain and double emulsion on the physicochemical properties of pork loin. Food Science of Animal Resources 39(6): 888-902.

SINGH PK, N SHRIVASTAVA, BK OJHA (2019). Enzymes in the meat industry. En Enzymes In Food Biotechnology, Production, Applications, and Future Prospects, M KUDDUS (ed.). Elsevier Academic Press, Londres, pp. 2019 111-180.

TALAT SE, ALI FHM, HASSAN AHA (2019). Efficacy of different marination methods on microbial quality of meat. Journal of Biochemistry, Microbiology and Biotechnology 7(2): 35-38.

VELAZCO J. (1999). Los músculos: características, funcionalidad y su relación con el rendimiento de corte. CarneTec 8(6): 40, 42, 44.

VLAHOVA-VANGELOVA DB, SG DRAGOEV, DK BALEV, BK ASSENOVA, KJ AMIRHANOV (2017). Quality, microstructure, and technological properties of sheep meat marinated in three different ways. Journal of Food Quality 2017: 5631532.

WANG A, D KANG, W ZHANG, C ZHANG, Y ZOU, G ZHOU (2018a). Changes in calpain activity, protein degradation and microstructure of beef *M. semitendinosus* by the application of ultrasound. Food Chemistry Volume 245: 724-730.

WANG F H TANG (2018) Influence of malic acid marination on characteristics of connective tissue and textural properties of beef *Semitendinosus* muscle, CyTA -Journal of Food 16: 730-737.

WHEELER TL, M KOOHMARAIE, JL LANSDELL, GR SIRAGUSA, MF MILLER (1993). Effects of postmortem injection time, injection level, and concentration of calcium chloride on beef quality traits. Journal of Animal Science 71(11): 2965-2974.

WHIPPLE G, M KOOHMARAIE (1993). Calcium chloride marination effects on beef steak tenderness and calpain proteolytic activity. Meat Science 33(2): 265-275.

WHIPPLE G, M KOOHMARAIE M (1992). Freezing and calcium chloride marination effects on beef tenderness and calpastatin activity. Journal of Animal Science 70(10): 3081-3085.

WILK S, M ORLOWSKI (1980). Cation-sensitive neutral endopeptidase: Isolation and specificity of the bovine pituitary enzyme. Journal of Neurochemistry 35(5): 1172-1182.

XU H, XK ZHANG, X WANG, DH LIU (2019). The effects of high pressure on the myofibrillar structure and meat quality of marinating Tan mutton. Journal of Food Processing Engineering 42: e13138.

ZAHIR HG, HH SALEH, AB MAHMUD (2019). Tenderization efficiency of cucumis extract (*Cucumis Trigonus Rox-b*) compared with papain enzyme on the aged bull meat by injection method. Al-Anbar Journal of Veterinary Sciences 12(1): 125-141.

ZHAO D, Y XU, T GU, H WANG, Y YIN, B SHENG, Y LI, Y NIAN, C WANG, C LI, X XU, G ZHOU (2020). Peptidomic investigation of the interplay between enzymatic tenderization and the digestibility of beef *Semimembranosus* proteins. Journal of Agriculture and Food Chemistry 68(4): 1136-1146.

Indizada o indexada en