

39TCA. Características fisicoquímicas de carne vacuna tratada con soluciones salinas y sometidas a tratamiento de altas presiones

Physicochemical characteristics of beef treated with saline solutions and subjected to high pressure treatment

Giménez¹ Belén, Rodríguez² Hernán B., Graiver¹ Natalia, Zaritzky^{1,3} Noemi

1 Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos (CIDCA), CONICET, Fac. de Cs Exactas, UNLP. 47 y 116, La Plata (1900), ARGENTINA.

2 INIFTA (UNLP-CONICET), Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, Diag. 113 y Calle 64, La Plata, Argentina.

3 Depto. de Ing. Química, Fac. de Ingeniería, UNLP.

e-mail: belengimenez@live.com.ar

Resumen

La alta presión hidrostática (APH) es un método de conservación utilizada en alimentos para prolongar su vida útil. El objetivo del trabajo fue estudiar el efecto del tratamiento de APH y la concentración salina sobre las características fisicoquímicas de un producto cárnico. Se utilizaron discos de carne vacuna, se sumergieron (2.5h) en una solución que contenía NaNO₂, ácido ascórbico y NaCl (30 o 60 g/L). Las muestras se envasaron al vacío y se les aplicó el tratamiento de APH. Se estudió el efecto de APH sobre las proteínas del producto utilizando Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) y Espectroscopía Infrarroja (FTIR). Se realizó la determinación del color (escala CIE L*a*b*) mediante un colorímetro tristímulo y se midió la reflectancia difusa. Al aumentar la APH se evidenció en los termogramas de DSC la reducción de los picos correspondientes a las proteínas sarcoplasmáticas y miofibrilares; por FTIR se observó un aumento en el porcentaje de estructura desordenada. El tratamiento de APH afectó los parámetros de color, presentando las muestras tratadas a mayor presión menores valores de a* y mayores de L*. Mediante reflectancia difusa se evidenció que los preservadores químicos mejoraron la estabilidad del cromóforo (mioglobina) y disminuyeron el blanqueamiento de las muestras.

Palabras clave: Carne vacuna, Reflectancia difusa, Altas presiones, FTIR, DSC, Color.

Abstract The high hydrostatic pressure (APH) is a preservation method used in foods to extend the storage life. The objective of this work was to study the effect of APH and the saline concentration of the chemical treatment on the physicochemical characteristics of a meat product. Beef discs were used, they were immersed (2.5h) in a solution containing NaNO₂, ascorbic acid and NaCl (30 or 60 g/L). The samples were vacuum packed and the APH treatment was applied. The effect of APH on the proteins of the product was studied using Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Infrared Spectroscopy (FTIR). The color determination (CIE scale L*a*b*) was carried out using a tristimulus colorimeter and measuring diffuse reflectance. When increasing pressure in APH treatment DSC thermograms showed the disappearance of peaks due to the denaturation of sarcoplasmic and myofibrillar proteins; by FTIR an increase in the percentage of disordered structure was evidenced. The APH treatment affected color parameters; the samples treated at higher pressure had a lower value of a* and a higher value of L*. Diffuse reflectance spectrophotometry evidenced that chemical preservatives improved the stability of the chromophore (myoglobin) decreasing the discoloration of the samples

Keywords: Beef, Diffuse reflectance, High pressure, FTIR, DSC, Color.

1. Introducción

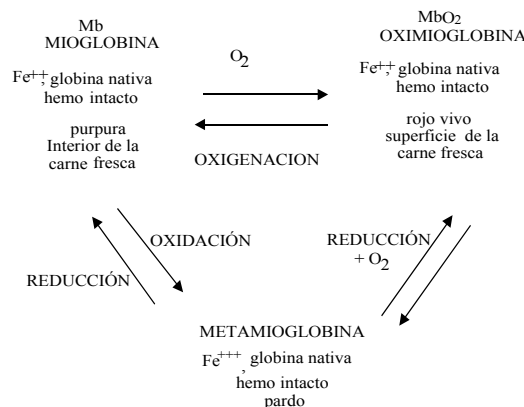
Uno de los objetivos principales del tratamiento de alimentos es mejorar su calidad y conseguir una mayor vida útil, además de lograr una atractiva presentación para el consumidor.

En los últimos años se han introducido diferentes tecnologías emergentes para la conservación de alimentos como el calentamiento utilizando microondas, radiofrecuencia, alta presión hidrostática (APH), campos eléctricos pulsados de alta intensidad, ultrasonido, etc., debido a las consecuencias indeseables que provocan los tratamientos térmicos (pasteurización, escaldado, esterilización) sobre muchos productos, como por ejemplo la disminución del valor nutricional del alimento.

La tecnología de altas presiones hidrostáticas (APH) es una de estas tecnologías emergentes. Se basa en la aplicación de presiones entre 100 y 900 MPa por tiempos cortos a alimentos envasados en vacío que luego se conservan bajo refrigeración. Estos tratamientos permiten extender la vida útil de los productos sin alterar su frescura y sus propiedades nutricionales (Szerman *et al.*, 2012).

La aplicación de APH produce modificaciones conformacionales de las proteínas de la carne produciendo desnaturalización, agregación o gelificación de las mismas, alteraciones principalmente causada por la ruptura de las interacciones no covalentes proteína-proteína y la generación de nuevos enlaces inter e intramoleculares (Cheftel y Culioli, 1997, Sun y Holley, 2010).

El atractivo color rojo es una característica principal en productos cárnicos. La cantidad del pigmento influye directamente en la intensidad del color rojo, pero no es el único factor ya que el estado químico del pigmento es importante. En la mioglobina el átomo de hierro está como Fe^{+2} confiriendo color púrpura a la carne bovina (Esquema 1); este estado de oxidación se mantiene en la oximioglobina (color rojo brillante por complejación de la mioglobina con el oxígeno). Cuando el hierro se oxida a Fe^{+3} se forma metamioglobina (marrón).



Esquema 1: Estados químicos de la mioglobina.

Al aplicar APH a niveles superiores a 300 MPa en carne bovina se afectan los parámetros de color, atenuando significativamente la tonalidad roja característica en la carne. Para contrarrestar este efecto se necesita un tratamiento previo con preservadores químicos como el nitrito que permita la formación de nitrosomioglobina, proteína más resistente a las altas presiones, manteniendo un color adecuado en la superficie de la carne (Giménez *et al.*, 2015).

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto del tratamiento de alta presión hidrostática y la concentración salina sobre las características fisicoquímicas en un producto cárnico sometido a un tratamiento no térmico de conservación.

2. Materiales y métodos

2.1. Selección de las materias primas

Se utilizaron cortes vacunos de cuartos traseros (nalga, músculos adductor femoris y semimembranosus). Los músculos se separaron luego de 48 horas postmortem y se recortó toda la grasa visible. Las materias primas tenían un valor de pH entre 5.4 y 5.7.

2.2. Caracterización de la materia prima: análisis de composición centesimal del tejido cárnico

Se determinó el contenido inicial de humedad, proteínas, lípidos y cenizas en la carne fresca. Todos los análisis se realizaron por duplicado. La humedad se determinó mediante el método 24.002, AOAC, 1984). El contenido de ceniza se determinó por el método 24.009, AOAC, 1984. Para el porcentaje de proteína total se utilizó el método de Kjeldahl (método 24.027, AOAC, 1984). Se determinó el porcentaje de lípidos por el método de Soxhlet (método 24.005, AOAC, 1984).

2.3. Determinación de pH y Actividad acuosa

El pH de la carne fresca se determinó por duplicado mediante un electrodo de vidrio de inserción (Cole.Palmer, cat u-05998-20) conectado a un pHmetro (Hach Sension pH 3, Loveland USA).

La determinación de aw se realizó en un equipo Aqua Lab Serie 4 (Decagon Devices, USA) calibrado con una solución de K₂SO₄ (aw= 0.979 ±0.005) y agua bidestilada (aw=1). Las medidas fueron realizadas a 25°C por duplicado.

2.4. Tratamiento con solución salina de preservadores químicos

El proceso incluyó una etapa de inmersión (2.5 h) en una solución preservadora compuesta por 0.62 g/L NaNO₂, 8.5 g/L ácido ascórbico y cloruro de sodio en dos concentraciones: 30 g/L (S1) o 60 g/L (S2), en secciones de carne bovina de 3 mm de espesor y 6 cm de diámetro.

2.5. Envasado de las muestras y aplicación del tratamiento de APH

Las muestras de carne se envasaron al vacío en bolsas Cryovac BB4L (Sealed Air, Buenos Aires, Argentina) y se sometieron al proceso de APH. Este tratamiento se llevó a cabo en un sistema de Stansted Fluid Power (modelo FPG9400:922, cilíndrico de 2 litros de capacidad, presión máxima de trabajo 900 MPa, rango de temperatura: de -20 a 120 °C) en el Laboratorio del INTA Castelar. La velocidad de presurización con la que opera el equipo es de 300 MPa/min y la despresurización se realizó instantáneamente. Se utilizaron seis niveles de presión (100, 200, 300, 400, 500 y 600 MPa), el tiempo de mantenimiento de la alta presión en el equipo fue de 5 min. La temperatura de trabajo fue 20 °C ± 5 °C.

2.6. Determinaciones de cloruro y nitrito

La cantidad de NaCl presente en el tejido después del tratamiento se determinó mediante un electrodo selectivo (Cole-Parmer 27.502-12) y la determinación de nitrito se llevó a cabo utilizando el kit Hach Nitriver 3 (método 371), siguiendo el procedimiento utilizado por Graiver et al. (2006). Las determinaciones se realizaron por duplicado.

2.7. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Se analizó la desnaturalización proteica por efectos de la difusión de las sales de curado seguida del tratamiento de alta presión a través de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC Q100 controlada por el módulo TA 5000 (TA Instruments, New Castle,

Delaware, USA). Se obtuvieron muestras de 9-10 mg que fueron colocadas en cápsulas de aluminio y selladas herméticamente. Se empleó una velocidad de calentamiento en el DSC de 10 °C/min en el rango de 20 a 100 °C utilizando como referencia una cápsula vacía. Cada ensayo fue realizado utilizando al menos cuatro muestras.

2.8. Espectroscopía Infrarroja (FTIR)

Los espectros FTIR de las muestras de carne se registraron utilizando un Espectrómetro infrarrojo Nicolet™ iS™10, Thermo Scientific™, (Madison, USA) equipado con un accesorio de reflectancia total atenuada (ATR) de diamante. El análisis se realizó a temperatura ambiente. Los espectros FTIR se obtuvieron de 400 a 4000 cm⁻¹ con 32 escaneos a 4 cm⁻¹ de resolución. La interferencia de fondo se eliminó usando el software Omnic 8 (Thermo Scientific™, Madison,USA).

Uno de los inconvenientes que surgen cuando se quieren interpretar los espectros FTIR, es el solapamiento de las bandas que se producen en las diferentes longitudes de onda, causadas por la absorción de la radiación, a determinadas frecuencias, por los diferentes enlaces moleculares que vibran a esas mismas frecuencias. La suma de todas estas bandas forma el espectro compuesto. Una de las técnicas que permite visualizar las bandas que componen el espectro compuesto es la deconvolución de Fourier (FSD). Se realizó la deconvolución en la región de la amida I (1600-1700 cm⁻¹) para poder identificar las estructuras secundarias presentes en las proteínas. Todos los ensayos se realizaron por triplicado.

2.9. Determinación de parámetros de color

Se realizó con un colorímetro triestímulo Minolta C400 el cual utiliza la escala de color CIE L*a*b*, mediante la cual el color es descrito por los parámetros de luminosidad L*, y de cromaticidad a* y b*. Las determinaciones se realizaron sobre 3 muestras de carne, realizando 6 medidas para cada muestra.

2.10. Reflectancia Difusa

Los estudios de color se complementaron con la determinación de los espectros de reflectancia difusa que fueron obtenidos en un espectrofotómetro UV-visible de doble haz marca PG Instruments modelo T90+, equipado con accesorio de esfera integradora perteneciente al INIFTA (CONICET, UNLP). Se interpuso una placa de cuarzo (2 mm de espesor) entre las muestras y la esfera para evitar la contaminación de la misma, utilizándose BaSO₄ con la misma placa como referencia del 100% de

reflectancia. Se seccionaron muestras circulares de carne (3 cm de diámetro, 4 mm de espesor) que se ajustaban a las dimensiones del porta-muestras del equipo. Se registraron medidas entre 400 y 800 nm.

Se determinaron los espectros de muestras de carne conteniendo los pigmentos metamioglobina, oximioglobina o nitrosomioglobina. Para ello se modificó el estado de la mioglobina siguiendo tres protocolos. La mioglobina de las muestras de carne fresca fue convertida a metamioglobina mediante la inmersión de las mismas en ferrocianuro de potasio 1% durante 3 minutos, una vez escurridas las muestras y secadas se envasaron en una bolsa plástica permeable al oxígeno durante 12 h a 4 °C para que se lleve a cabo la oxidación del pigmento. Para la formación de oximioglobina se expusieron las muestras de carne en un ambiente oxigenado a 4 °C durante 2 h y se midió la reflectancia difusa inmediatamente. Para obtener nitrosomioglobina las muestras de carne fresca fueron inmersas en una solución compuesta por 2g/L NaNO₂, 30g/L NaCl y 8.5 g/L ácido ascórbico, durante 2.5 h, una vez escurridas y secadas fueron envasadas al vacío.

2.11. Análisis Estadístico

Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el software SYSTAT (SYSTAT Inc., 1990, v. 10.0). Las diferencias significativas entre las medias fueron determinadas por el método de la menor diferencia significativa, LSD (P<0.05).

3. Resultados

3.1. Composición de la carne

La composición centesimal de la carne se presenta en la **Tabla 1**, los valores encontrados están dentro del rango esperado para este tipo de productos según los datos publicados por la USDA.

Tabla 1: Composición centesimal de la carne vacuna

Componente	Contenido (g/100 g de carne)	Contenido (g/100 g de carne) según USDA
Humedad	72.65 ± 0.80	72.16
Proteínas	20.60 ± 0.07	20.67
Lípidos	5.75 ± 0.07	6.21
Cenizas	1.10 ± 0.01	0.96
Hidratos de carbono	0.10 ± 0.01	0.00

± corresponde al error estándar de la media

3.2. pH y Actividad acuosa

Las muestras cárnicas utilizadas presentaron un valor de pH entre 5.4 y 5.7, y la actividad acuosa del producto un valor medio de 0.950±0.005.

3.3. Determinaciones de cloruro y nitrito

Las concentraciones de nitrito de sodio y cloruro de sodio en las muestras cárneas luego del tratamiento fueron para las muestras sumergidas en la solución S1, 0.0026± 0.0006 g NaNO₂/100 g tejido cárnico y 1.95±0.72 g NaCl/g tejido cárnico y para las muestras sumergidas en la solución S2, 0.0041± 0.0003 g NaNO₂/100 g tejido cárnico y 5.24±0.53 g NaCl/g tejido cárnico, cumpliéndose con lo que establecido en la normativa vigente. El uso de NaNO₂, KNO₃ o de su combinación no debe superar los 200 ppm (0.2 mg / g), expresado en NaNO₂ en el producto final (USDA-FSIS 1999).

3.4. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Los termogramas de la carne obtenidos por DSC se vieron afectados por los diferentes niveles de presión del tratamiento APH y por la composición de la solución de inmersión, como se muestran en la Figura 1.

Se observaron diferentes picos de transición particularmente en la carne fresca. Los primeros picos registrado entre 50 y 70 °C representan el rango de temperatura de desnaturalización de la miosina y el último pico entre 74-84 °C está relacionado con la desnaturalización de actina (ambas proteínas miofibrilares).

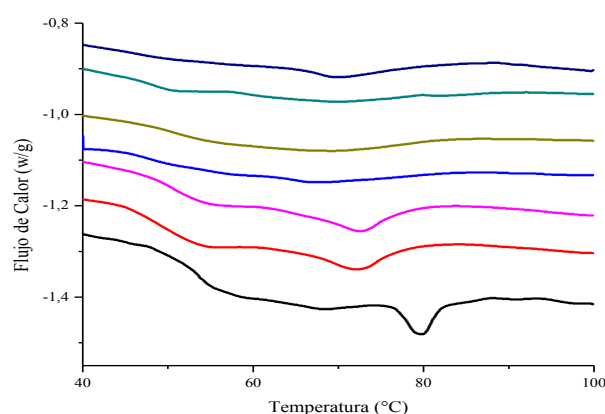


Figura 1: Termograma obtenido por calorimetría diferencial de barrido (DSC) de carne fresca (—), carne sumergida en la solución de inmersión S1 (3%) (—) y carne sumergida S1 y sometida a 400 MPa (—) y a 600 MPa (—) y carne sumergida en la solución de inmersión S2 (6%) (—) y carne sumergida S2 y sometida a 400 MPa (—) y a 600 MPa (—).

Al analizar los termogramas para las muestras tratada con APH en el rango de presiones entre 100 y 600 MPa, se observa una disminución en el área de los picos de las proteínas miofibrilares. A partir de 500 MPa desaparecen los picos no pudiéndose determinar la entalpía. La presurización favorece la desnaturalización proteica. Presiones del orden de 100-300 MPa inducen una desnaturalización reversible y presiones superiores a 300 MPa provocan la desnaturalización irreversible de las proteínas (Hoover *et al.*, 1989). La desnaturalización parcial de la proteína causada por los tratamientos de APH estaría relacionado con la desestabilización de interacciones no covalentes en estructuras terciarias y secundarias (Chapleau *et al.*, 2004). Para el caso de las muestras tratadas con los preservadores químicos y no sometidas a APH, se observó la disminución de la entalpía total con respecto a la carne fresca; esto podría deberse a la adición de NaCl. Barbut *et al.* (1991) estudiaron el efecto que produce la adición de NaCl, KCl o MgCl₂ en diferentes concentraciones (12.5, 25 y 50 g/L) en carne vacuna y concluyeron que un incremento en la concentración de las sales desestabiliza térmicamente a la miosina y a la actina.

3.5. Espectroscopía Infrarroja (FTIR)

La banda de la Amida I localizada entre 1600 y 1700 cm⁻¹ (Figura 2) fue investigada debido a que esta región es más sensible a cambios en las proteínas miofibrilares (Martinez *et al.*, 2017). Se obtuvieron los espectros de deconvolución de esta región para mejorar la resolución espectral y para obtener una visión de los cambios en las estructuras secundarias, tales como hoja β (β -Sheet), α -hélice, giros β (β -Turn), así como estructuras al azar o desordenadas.

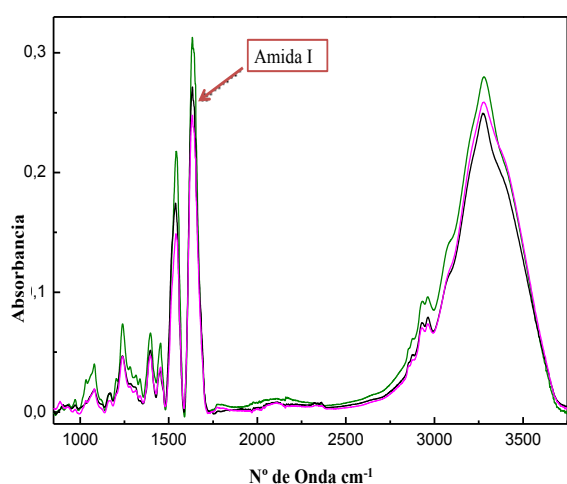


Figura 2: Ejemplo de espectro FTIR de carne fresca (—), carne sumergida S1 (3%) y sometida a 400 MPa (—) y carne sumergida S2 (6%) a 400 MPa (—).

Se encontraron cuatro bandas correspondientes a estructuras de las proteínas localizadas en las siguientes regiones de la Amida I: entre 1622-1624 cm⁻¹ correspondiente a β -Sheet; 1654-1656 cm⁻¹ a la fracción de α -Hélice, 1673-1678 cm⁻¹ a β -Turn y una banda en 1640 cm⁻¹ correspondiente a una estructura desordenada.

En el ensayo se encontró que al someter las muestras a APH se produce una disminución del contenido de α -hélice y un aumento del contenido de estructura desordenada respecto a la carne sin tratamiento (Figura 3, 4 y 5). Estos cambios inducidos por APH indican que las presiones producen un desdoblamiento parcial de las proteínas debido a la modificación de las interacciones no covalentes que estabilizan la estructura secundaria (Martinez *et al.*, 2017).

Se observa que las muestras tratadas con la solución de inmersión presentaron una mayor estabilidad a las altas presiones, observándose una disminución más atenuada en el porcentaje de α -Hélice. Al comparar el efecto de las concentraciones de cloruro de sodio (S1 y S2) las muestras que tenían mayor cantidad de NaCl, resultaron menos estables; esto puede estar relacionado con la desestabilización que produce esta sal en las proteínas. (Graiver *et al.*, 2006). (Figuras 4 y 5).

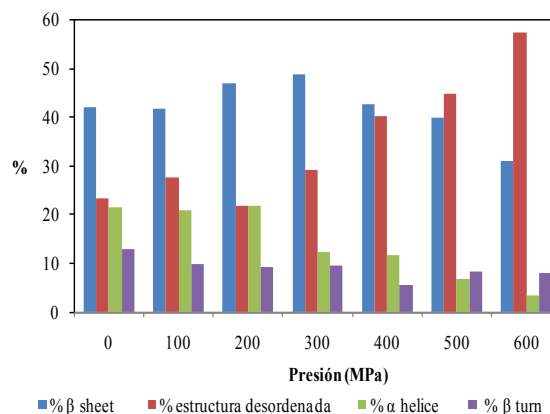


Figura 3: Porcentaje de estructuras de proteínas (β -Sheet, Estructura desordenada, α -Hélice, β -Turn) de muestras de carne fresca sometida a diferentes presiones (100-600 MPa).

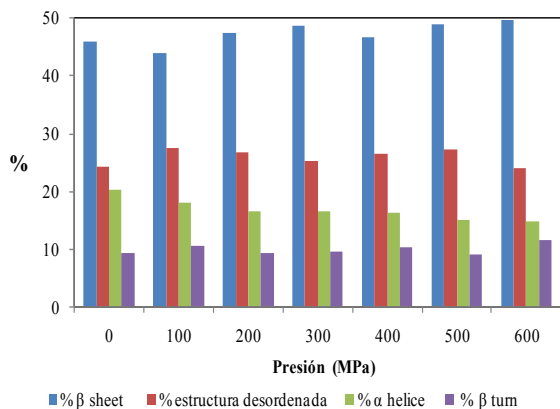


Figura 4: porcentaje de estructuras de proteínas (β -Sheet, Estructura desordenada, α -Hélice, β -Turn) de carne sumergida en la solución S1 (3%) y luego sometida a diferentes presiones.

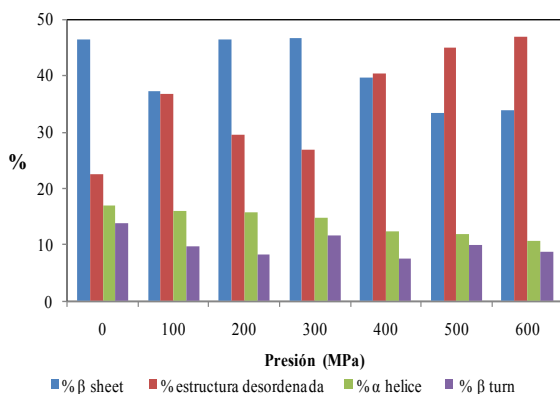


Figura 5: porcentaje de estructuras de proteínas (β -Sheet, Estructura desordenada, α -Hélice, β -Turn) de Carne sumergida en la solución S2 (6%) y luego sometida a diferentes presiones.

3.6 Determinación de color

En la Figura 6 se observa la variación del color en las distintas muestras de carne sometidas dos niveles de presión utilizados (100 y 600 MPa). Se observa un mayor efecto de blanqueamiento (decoloración) en las muestras sometidas a alta presión sin un tratamiento previo con preservadores químicos.

El tratamiento con la solución preservadora conteniendo nitrito produce la formación de nitrosomioglobina que es más estable y se encuentra en mayor proporción cuando se utiliza una mayor concentración de NaCl, ya que la presencia de cloruro de sodio facilita la difusión del nitrito de sodio en el tejido (Graiver *et al.*, 2006).

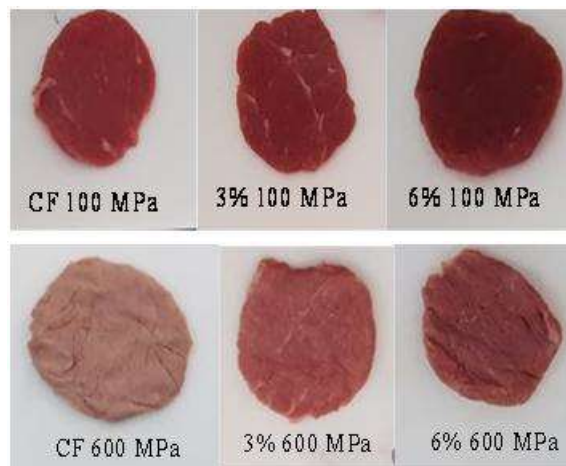


Figura 6: Cambios de coloración en muestras cárnicas frescas (CF) y tratadas con 3 y 6 % de NaCl sometidas a 100 y 600 MPa.

Las diferentes condiciones de tratamiento previo a APH (S1, S2 o control), las presiones empleadas y la interacción entre los dos factores, influyeron significativamente ($P < 0.05$) en los parámetros de color.

La luminosidad (L^*) de las muestras aumentó significativamente ($P < 0.05$) al incrementarse la presión (Figura 7) y varió significativamente con el tratamiento de curado. Esto puede deberse a que los tratamientos de alta presión conducen a cambios en la estructura de las proteínas miofibrilares, provocando despolimerización como principal efecto (Cheftel y Culioli, 1997; Suzuki *et al.*, 2006). Estos cambios en la estructura podrían explicar el aumento de la luminosidad como un incremento de la relación de la luz reflejada y absorbida por el material (Campus *et al.*, 2008).

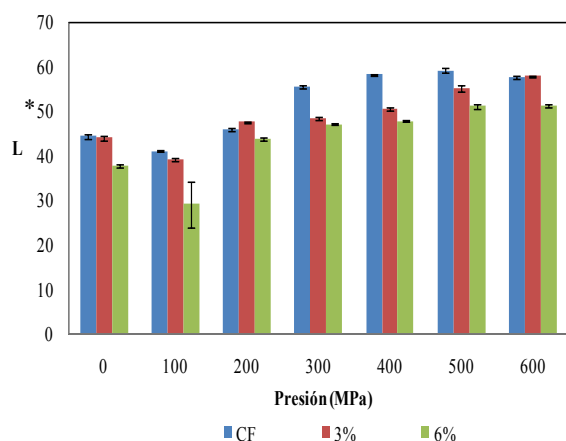


Figura 7: Variación de la luminosidad (L^*) de las muestras cárnicas en función de las condiciones de curado a las diferentes presiones ensayadas.

En las muestras que no fueron tratadas con la solución de inmersión (CF), el proceso de APH provocó una disminución del valor de a^* (Figura 8);

esto se debe a que la mioglobina (proteína sarcoplásmica), responsable del color rojo de la carne, no es estable a las altas presiones, oxidándose a metamioglobina (Rubio *et al.*, 2007).

En cambio el valor de a^* se incrementó con el aumento de la presión en las muestras sumergidas en la solución de inmersión, lo cual podría atribuirse a la formación de nitrosomioglobina, proteína más estable a las altas presiones debido a su mayor resistencia a la oxidación que la mioglobina y la oximioglobina (Rubio *et al.*, 2007). El incremento del valor de a^* con la presión de trabajo indicaría que la misma favorece la formación de nitrosomioglobina acentuando la coloración rojiza. En función de la solución de inmersión, las muestras que tienen mayor concentración de NaCl presentaron valores de a^* mayores, lo cual está relacionado con la mayor difusión efectiva de NaNO_2 favorecida por el NaCl (Graiver *et al.*, 2006).

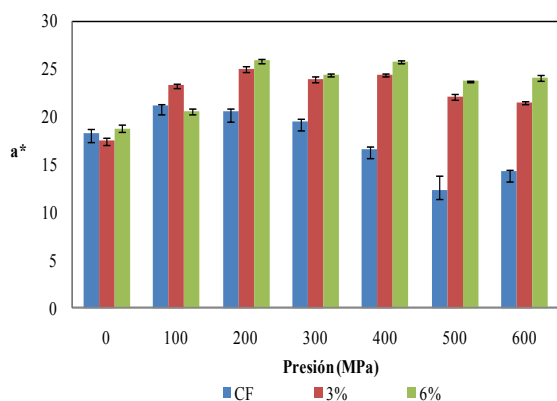


Figura 8: Variación del parámetro a^* de las muestras cárnicas en función de las condiciones de curado a las diferentes presiones ensayadas.

3.7. Reflectancia Difusa

La reflectancia difusa es un método no destructivo para determinar la concentración relativa de los diferentes pigmentos. La reflectancia difusa se refiere a la fracción de la luz incidente que es reflejada por una superficie, que ha sido parcialmente absorbida y parcialmente dispersada como resultado de su penetración en el interior de la muestra, y que presenta una distribución angular de reflexión (a diferencia de la reflexión especular que es direccional). La teoría más comúnmente aceptada sobre la reflectancia difusa ha sido desarrollada por Kubelka y Munk (Wendlandt y Hecht, 1966; Kortüm, 1969) y es válida para muestras poco absorbentes en sistemas reflectantes difusos.

En el marco de esta teoría, la carne se puede considerar como una matriz de material celular capaz de dispersar la luz, constituida por proteínas miofibrilares, tejido conectivo y pigmentos

responsables de la absorción de la radiación (McDougall, 1970). La intensidad de la luz reflejada, y por lo tanto su color y apariencia, se rige por la interrelación entre la luz dispersada por componentes en el sistema, y la concentración y propiedades espectrales de absorción de los pigmentos. Los pigmentos rojos absorben luz en el espectro visible mientras que las estructuras no coloreadas y las proteínas miofibrilares dispersan y absorben (Bevilacqua y Zaritzky 1986).

En la Figura 9 se puede observar el efecto de las altas presiones hidrostáticas sobre la reflectancia difusa de las muestras cárnicas no sometidas a tratamiento químico con soluciones salinas.

Al someter las muestras a mayores presiones se produce un cambio en la matriz evidenciado por un aumento en los valores de reflectancia, lo cual lleva a un blanqueamiento de las muestras. Esto coincide con lo observado en las fotografías de la Figura 6.

Asimismo se observan modificaciones en los cromóforos (mioglobina en sus distintos estados) que están determinadas por los cambios en las reflectancias en el intervalo entre 500 y 600 nm. Esto se puede correlacionar con los valores de cromaticidad L^* y a^* (sección 3.6), donde se observa que a mayor presión aumentan los valores de L^* , indicando un efecto de blanqueamiento de la carne, que se vincula con los aumentos registrados en la reflectancia de las muestras.

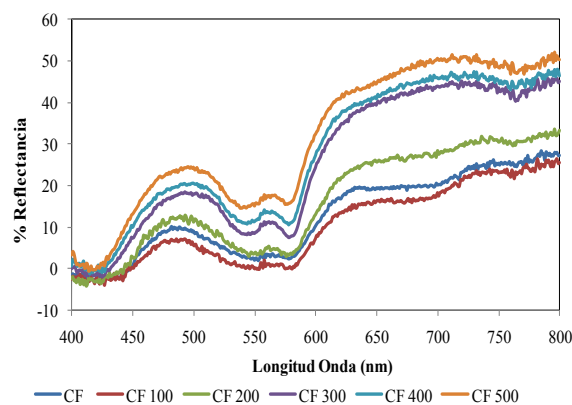


Figura 9: Espectros de reflectancia difusa de la carne sin tratamiento químico sometida a diferentes niveles de presión.

Para poder determinar las concentraciones o variaciones en los pigmentos de la carne, en el marco de la teoría Kubelka-Munk se puede calcular, a partir de la reflectancia difusa de muestras cárnicas ópticamente gruesas (transmitancia despreciable), la función de Kubelka-Munk, $F(R_\lambda)$, a partir de la siguiente ecuación:

$$F(R) = \frac{1-R_d}{2R_d} = \frac{K}{S} = \frac{\sum K_i C_i}{S} \quad (1)$$

donde R_d es la reflectancia difusa de la muestra, K_i son los coeficientes de absorción de los pigmentos y la matriz, S_i es el coeficiente de dispersión y C_i es la concentración de cromóforos en la muestra.

Esta función es proporcional a la concentración del cromóforo. Para independizar los valores de la función $F(R)$ de los cromóforos respecto a los correspondientes a la matriz, se sustrajo el valor de dicha función evaluada a $\lambda = 750$ correspondiente a la matriz sin colorear.

En la Fig. 10 se muestran la función de Kubelka Munk ($F(R)$) para muestras de carne vacuna conteniendo metamioglobina, oximioglobina y nitrosomioglobina (curvas patrón) en función de la longitud de onda.

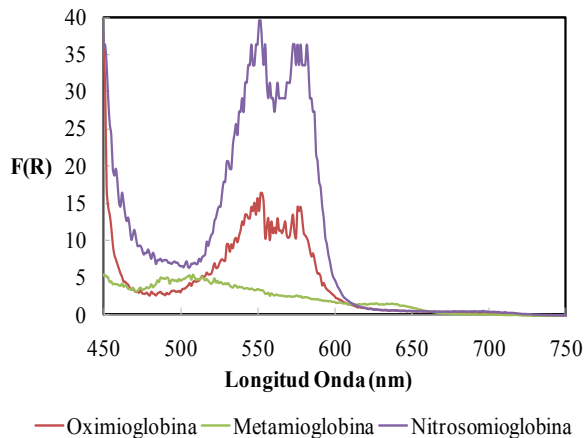


Figura 10: Espectro de la función de Kubelka Munk de carne vacuna conteniendo metamioglobina, oximioglobina y nitrosomioglobina (curvas patrón) .

En la Figuras 11 y 12, se muestran a modo de ejemplo $F(R)$ (ecuación 1), en función de la longitud de onda para carne fresca y tratada con distintas concentraciones de sal, para dos presiones diferentes (200 y 600 MPa). Puede notarse que a una presión fija a medida que aumentaba la concentración de cloruro de sodio y por lo tanto la cantidad de nitrito en el tejido, se incrementó el valor de $F(R)$, lo cual indica una mayor concentración del cromóforo fundamentalmente nitrosomioglobina cuyo espectro representado como $F(R)$ puede observarse en la Figura 10.

Al comparar las Figuras 11 y 12 se observa que a mayor presión en el tratamiento (600 MPa) la función $F(R)$ adopta valores más bajos que a 200 MPa lo cual indicaría una menor estabilidad del pigmento a mayores presiones hidrostáticas. Obsérvese que la escala de la Figura 12 corresponde

a valores mucho más bajos de $F(R)$.

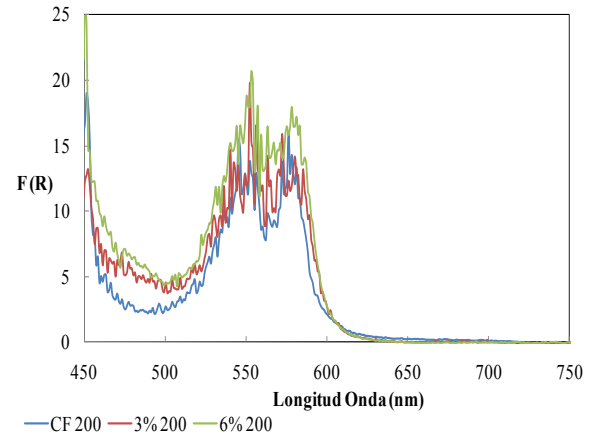


Figura 11: Espectro de la función de Kubelka Munk en función de la longitud de onda para muestras sometidas a 200 MPa.

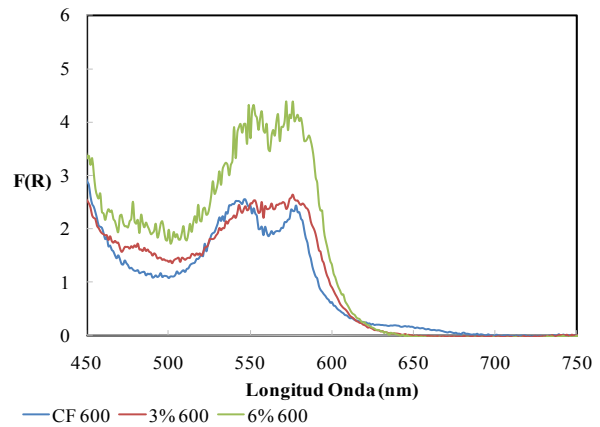


Figura 12: Espectro de la función de Kubelka Munk en función de la longitud de onda para muestras sometidas a 600 MPa .

La presencia de nitrosomioglobina estabiliza el color rojo disminuyendo la oxidación del pigmento con formación de metamioglobina. (Ver los espectros correspondientes a los pigmentos de la carne en Figura 10)

4. Conclusiones

Mediante los ensayos de DSC y FTIR se observó que las APH modificaron las estructuras de las proteínas. Se evidenció en los termogramas de DSC la desaparición de los picos correspondientes a las proteínas sarcoplasmáticas y miofibrilares cuando son sometidas a los diferentes niveles de presión y concentración de preservadores químicos. A partir de los espectros de FTIR se observó una disminución en el contenido de estructuras α -Hélice y un aumento de la estructura desordenada. Se encontró que el tratamiento de APH afectó los

parámetros de color, presentando las muestras tratadas a mayor presión un menor valor de a^* (disminución de la coloración rojiza) y un mayor valor de L^* , lo cual se pudo correlacionar con las mediciones de reflectancia difusa. Los preservadores químicos mejoraron la estabilidad del cromóforo disminuyendo el blanqueamiento de las muestras (producido por la aplicación de APH). La formación de nitrosomioglobina estabilizó el color rojo evitando la formación de metamioglobina.

Referencias

- Barbut, S.; Findlay, C. (1991). *Influence of sodium, potassium and magnesium chloride on thermal properties of beef muscle*. Journal of Food Science, 56, 180-182.
- Bevilacqua E.; Zaritzky N. E. (1986). *Rate of pigment modifications in Packaged refrigerated beef using Reflectance spectrophotometry*. Journal of Food Processing and Preservation 10: 1-18
- Campus, M.; Flores M., Martinez A.; Toldran F. (2008). *Effect of high pressure treatment on colour, microbial and chemical characteristics of dry cured loin*. Meat Science. 80: 1174-1181
- Cheftel, J. C.; Culioli, J. (1997). *Effects of high pressure on meat: A review*. Meat Science, 46, 211–236.
- Chapleau, N.; Mangavel, C.; Compoint, J. P.; De Lamballerie-Anton, M. (2004). *Effect of high-pressure processing on myofibrillar protein structure*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 84(1), 66–74.
- Giménez, B.; Graiver, N.; Califano, A.; Zaritzky, N. (2015). *Physicochemical characteristics and quality parameters of a beef product subjected to chemical preservatives and high hydrostatic pressure*. Meat Science, 100, 179–188.
- Graiver, N.; Pinotti, A.; Califano, A.; Zaritzky, N. (2006). *Diffusion of sodium chloride in pork tissue*. Journal of Food Engineering, 77, 910–918.
- Hoover, D. G.; Metrick, C.; Papineau, A. M.; Farkas, D. F.; Knorr, D. (1989). *Biological effects of high hydrostatic pressure on food microorganisms*. Food Technol, 43, 99-107.
- Kortum, G. (1969). *Reflectance Spectroscopy*, Springer-Verlag, New York.
- Martínez M.A.; Velazquez G.; Cando D.; Núñez-Flores R.; Borderías A.J.; Moreno H.M. (2017). *Effects of high pressure processing on protein fractions of blue crab (Callinectes sapidus) meat*. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 41 (2017) 323–329.
- Mcdougall, D. B. (1970). *Characteristics of the Appearance of Meat I. The luminous absorption scatter and internal transmittance of the lean of bacon manufactured from normal and pale pork*. J. Sci. Food Agric. 21, 568-571.
- Sun, X. D.; Holley, R. A. (2010). *High hydrostatic pressure effects on the texture of meat and meat products*. Journal of Food Science, 75, 17–23.
- USDA-FSIS, 1999. *Food Ingredients and Sources of Radiation Listed or Approved for Use in the Production of Meat and Poultry Products; Final Rule. Subpart C – 424.21*. Use of Food Ingredients and Sources of Radiation. Code of Federal Regulations, title 9, vol. 64, part 424. Office of Federal Register, National Archives and Records, GSA, Washington, DC, pp. 72185–72186 (Chapter III).
- USDA-FSIS *United States Department of Agriculture Agricultural Research Service National Nutrient Database for Standard Reference Release 28*. Basic Report: 13973, Beef, chuck eye roast, boneless, America's Beef Roast, separable lean only, trimmed to 0" fat, choice, raw.
- Rubio, B.; Martínez, B.; García-Cachan, M. D.; Rovira, J. Jaime, I. (2007). *Effect of high pressure preservation on the quality of dry cured beef "Cecina de Leon"*. Innovation Food Science and Emerging Technologies, 8(7), 102-110.
- Suzuki, A.; Kim, K.; Tangi, H.; Nishiumi, T.; Ikeuchi, Y. (2006). *Application of high hydrostatic pressure to meat and meat processing*. In I. M. Noller & F. Toldra (Eds.) Advanced Technologies for Meat Processing, 193-217.
- Szerman N.; Denoya G. I.; Sanow L. C.; Ormando P.; Vranic M. L.; Vaudagna S. R.; Barrio Y. X. (2012). *Aplicación de la tecnología de altas presiones hidrostáticas en el procesamiento de alimentos*. I Congreso de valor agregado en origen; Manfredi, Córdoba; 18 al 20 de julio de 2012. <http://inta.gov.ar/documentos/aplicacion-de-la-tecnologia-de-altas-presiones-hidrostaticas-en-el-procesamiento-de-alimentos/>. Accedida el 12/11/2017.
- Wendlandt, W. N.; Hecht, H. G. (1966). *Reflectance Spectroscopy*. Interscience Publishers, New York.