



MÁSTER EUROPEO EN
SEGURIDAD Y BIOTECNOLOGÍA
ALIMENTARIAS

UNIVERSIDAD DE BURGOS

EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ALTAS
PRESIONES EN LA PECHUGA DE PAVO
COCIDA BAJA EN SAL

TESIS DE MASTER

DIEGO FERNANDO WILCHES PÉREZ

BURGOS, 2008



UNIVERSIDAD DE BURGOS
DPTO. DE BIOTECNOLOGÍA Y CIENCIA DE LOS ALIMENTOS
ÁREA DE TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

Dña. ISABEL JAIME MORENO, PROFESORA TITULAR DEL ÁREA DE TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS DEL DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA Y CIENCIA DE LOS ALIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD DE BURGOS

INFORMA:

Que Diego Fernando Wilches Pérez ha realizado un proyecto de investigación titulado: “EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ALTAS PRESIONES EN LA PECHUGA DE PAVO COCIDA BAJA EN SAL”, bajo su tutela dentro del Máster de Seguridad y Biotecnología Alimentarias.

Y para que así conste, y haga los efectos oportunos, firma el presente informe en Burgos, a 24 de septiembre de dos mil ocho.

Fdo.: Isabel Jaime Moreno
Tutora

Fdo.: Elena Corcuera Tecedor
Tutora

**Con el apoyo del Programa Alban,
Programa de Becas de Alto Nivel de la Unión Europea para América Latina,
beca nº E07M400297CO**

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO.....	3
MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
1. TRATAMIENTO A ALTAS PRESIONES.....	3
2. PREPARACIÓN DE LA PECHUGA DE PAVO COCIDA.....	3
3. VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS.....	4
4. VARIABLES INSTRUMENTALES.....	6
5. ANÁLISIS SENSORIAL.....	6
6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	8
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
CARNE DE PAVO TRATADA A ALTAS PRESIONES.....	9
<i>Parámetros físico-químicos.....</i>	<i>9</i>
<i>Parámetros instrumentales.....</i>	<i>11</i>
<i>Análisis de Componentes Principales (PCA) para los diferentes parámetros evaluados.....</i>	<i>13</i>
PECHUGA DE PAVO ELABORADA CON CARNE TRATADA A ALTAS PRESIONES...17	
<i>Parámetros físico-químicos.....</i>	<i>17</i>
<i>Parámetros instrumentales.....</i>	<i>18</i>
<i>Atributos Sensoriales.....</i>	<i>21</i>
<i>Análisis de Componentes Principales (PCA) para los diferentes parámetros evaluados.....</i>	<i>22</i>
CONCLUSIONES.....	25
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26

INTRODUCCIÓN

Hoy día se considera que la hipertensión arterial es uno de los factores de riesgo más importantes en el desarrollo de las enfermedades cardiovasculares. Por otra parte, desde hace décadas se ha demostrado que existe una relación directa entre la ingesta excesiva de sal y los niveles de presión sanguínea (Adams et al., 1995; Guàrdia et al., 2006). Esto ha llevado a los responsables de salud pública de diferentes países a recomendar reducir la ingesta de sal en la población (Crehan et al., 2000; Desmond, 2006).

En España, los productos cárnicos ocupan un puesto importante en la ingesta total de sodio (20-30%) como resultado de su alto consumo. Por esta razón, la elaboración de productos cárnicos bajos en sodio puede ser de gran interés desde el punto de vista sanitario (Guàrdia et al., 2006).

Sin embargo, la sal es un elemento indispensable en el proceso de fabricación de los productos cárnicos: aumenta la capacidad de hidratación y de retención de agua; incrementa las propiedades de enlace de proteínas, mejorando la textura; incrementa la viscosidad de las emulsiones cárnicas, facilitando la incorporación de grasa para formar emulsiones estables; es esencial para el flavor; y es bacteriostática (Desmond, 2006; Guàrdia et al., 2006). Todo esto limita su reducción en este tipo de productos.

Para lograr tal reducción se han propuesto tres enfoques, cada uno con ventajas y limitaciones:

Reducción del contenido de sal añadida

La reducción del contenido de sal añadida a los productos elaborados fue la primera solución propuesta. Hace unos años, la FSA (*Food Standards Agency of UK*) dio una serie de recomendaciones a la industria alimentaria del Reino Unido para la reducción del porcentaje de sal en los productos alimenticios. Esta entidad proponía la reducción del 50% del contenido de sal en tocino y jamón, 40% en carne de hamburguesa o patés y 43% en salchichas. Sin embargo, estos valores fueron vistos por la industria como inalcanzables (Desmond, 2006). El principal problema que se encontró al poner estas recomendaciones en práctica fue el potencial rechazo por parte del consumidor debido a cambios sensoriales del producto por la reducción drástica de sal.

Para que la reducción del contenido en sal sea posible se deben considerar aspectos relacionados con el tipo de producto, su composición, el tipo de procesamiento requerido y las condiciones de preparación. La reducción de sal agregada y la tecnología empleada para ello, será diferente para cada alimento (Ruusunen & Puolanne, 2005). Ha habido casos donde tal reducción ha sido posible, es el caso del jamón cocido donde se ha llegado a alcanzar un 1,7% de sal manteniendo el sabor salado normal y sin pérdidas de peso durante el procesado (Desmond, 2006).

El flavor y de manera general, las características organolépticas, determinan la aceptación por parte del consumidor. Adams et al. (1995), encontraron que para una misma concentración de sodio, el sabor salado percibido difiere de acuerdo al tipo de alimento. En los alimentos más simples, es decir los que contienen pocos ingredientes, se percibe el sabor salado con más intensidad, mientras que en los alimentos complejos, la concentración de sodio por si sola no determina la percepción del mismo. En estos últimos, el sodio interactúa con otros componentes con función organoléptica tales como especias, grasas e incluso con la estructura física del alimento.

Para superar estas limitaciones se recomendó que la reducción de sal se hiciera de manera gradual, durante largos periodos de tiempo, para no afectar el gusto y la aceptabilidad del consumidor (Desmond, 2006). Esta opción no es práctica.

Uso de sustitutos del cloruro sódico

El segundo enfoque es la sustitución de NaCl por otras sales y/o aditivos. Dentro de este enfoque se pueden contemplar tres posibilidades:

- Reemplazar parcial o totalmente el NaCl con otras sales cloradas (KCl, CaCl₂, MgCl₂), aunque la sustitución de NaCl con KCl no conlleva pérdidas en lo que respecta a funcionalidad, el sabor se ve afectado por la presencia de sabor metálico y astringente (Crehan et al., 2000), así como un incremento de la percepción del sabor amargo y una disminución de la percepción del sabor salado (Desmond, 2006).
- Sustitución parcial del NaCl con sales no cloradas, tales como fosfatos, los cuales poseen propiedades funcionales como aumento de la capacidad de retención de agua y disminuye las pérdidas por cocción (Ruusunen & Puolanne, 2005).
- La utilización de potencializadores de sabor, los cuales no aportan sabor salado pero mejoran la percepción de éste en los productos cuando se usan en combinación con sal (Desmond, 2006).

El uso de sustitutos, sean parciales o totales, presenta la ventaja de mantener las propiedades funcionales de la sal, pero presenta dos limitaciones que condicionan su uso. La primera, es la aparición de sabores extraños, y la segunda, es el aumento de costos de algunos de estos sustitutos respecto de la sal (Desmond, 2006).

Nuevas tecnologías de procesamiento

El tercer enfoque es el uso de nuevas técnicas de procesamiento. Existen dos alternativas para mejorar la funcionalidad de las proteínas cárnicas en sistemas de baja formulación de sal. La primera, es el uso de carne en pre-rigor, que permite una mayor extracción de proteínas miofibrilares, lo cual mejora las características organolépticas. La segunda, son las tecnologías de altas presiones (Desmond, 2006).

Desde hace unos años, la tecnología de altas presiones (100 – 1000 MPa) se ha usado específicamente en la conservación de alimentos para inactivar microorganismos sin la utilización de calor y con cambios mínimos en el producto final en lo que se refiere a las características sensoriales y nutricionales de los alimentos (Cheftel & Culioli, 1997; Crehan et al., 2000; Barbosa-Cánovas et al., 2005; Rubio et al., 2007). El interés en el procesamiento a altas presiones se debe en parte a la creciente demanda de los consumidores para que los productos elaborados sean similares a sus respectivas materias primas en términos de color, flavor y textura.

En el caso de productos bajos en sal, el interés del tratamiento a presión se debe a su efecto sobre la funcionalidad de las proteínas, manteniéndola o mejorándola. Esto es posible ya que la presión aplicada desestabiliza los enlaces de cationes divalentes (Ca²⁺, Mg²⁺) de las proteínas. La desestabilización de estos enlaces provoca cambios en la conformación de las proteínas (Cheftel & Culioli, 1997; Crehan et al., 2000). Una vez que se deja de aplicar presión, se reduce la reconstitución de las proteínas permitiendo elaborar productos cárnicos con menor contenido en sal, a la vez que se mantienen las propiedades sensoriales del producto original.

OBJETIVO

El objetivo principal de este estudio es determinar la mejor combinación del porcentaje de sal y el tratamiento de altas presiones para obtener un producto bajo en sal con características sensoriales similares al producto control, siendo el producto seleccionado para este estudio pechuga de pavo cocida.

La consecución de este objetivo se planificó en las siguientes etapas:

- Estudiar la posible variación de las características físico-químicas y sensoriales de la carne utilizada como materia prima al ser sometida a un tratamiento de altas presiones.
- Relacionar las propiedades sensoriales de los productos finales con la materia prima utilizada.
- Evaluar la influencia sobre el producto final de los factores *contenido en sal y altas presiones*, y la posible interacción entre éstos.
- Correlacionar los resultados del análisis sensorial de la pechuga de pavo cocida con los obtenidos con técnicas instrumentales.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Tratamiento a altas presiones

La carne de pavo fue dividida en tres lotes, cada uno de 1 kg de carne, que se empacaron al vacío, donde dos de ellos fueron destinados a tratamiento por altas presiones, el tercero no fue sometido a este tratamiento y se usó como control respecto al factor *Presión*.

El primer lote de carne fue sometido a una presión de 200 MPa durante 5 minutos, mientras que sobre el segundo se ejerció una presión de 300 MPa durante el mismo periodo de tiempo. El tiempo de aplicación no fue considerado como factor.

2. Preparación de la pechuga de pavo cocida

Posteriormente al tratamiento a altas presiones de la carne, se procedió a la preparación de la pechuga de pavo a tres niveles en lo que respecta a la *concentración de sal*: 1,0%; 1,5%; y 2,3%, la cual es el segundo factor estudiado.

Normalmente, en la industria, la formulación de la pechuga de pavo contiene 2,3% en sal (Desmond, 2006). Este porcentaje de sal sólo fue usado en carne que no fue tratada por altas presiones, es decir, en la *carne control*. El mínimo porcentaje de sal desde el punto de vista funcional es del 1,5% (Ruusunen & Puolanne, 2005), sobre todo relacionado con las propiedades de textura. Se formuló el producto con 1,0% de sal ya que se busca reducir el contenido en sal por debajo del mínimo porcentaje por medio del tratamiento por altas presiones.

La pechuga de pavo se elaboró de la siguiente manera. A La carne de pavo se le retiró la grasa visible y fue troceada posteriormente. Una vez los ingredientes y aditivos fueron pesados según las cantidades que se pueden observar en la tabla 1, sal, polifosfatos, nitrito, caseinato de sodio y agua (hielo), constituyen la salmuera, la cual fue agregada junto a la carne a la masajeadora, durante 15 minutos, a vacío. Una vez finalizada esta operación, se agregó a la mezcla el carragenato, almidón y el aroma. La mezcla fue empacada, pesada, sellada y dispuesta en los moldes. La carne dentro de los moldes se llevó al horno de cocción donde se mantuvo hasta alcanzar 72°C, temperatura centro de pieza.

Tabla 1: Formulaciones de la pechuga de pavo para cada tratamiento (Presión - Porcentaje de Sal)

Presión tratamiento	0 MPa	0 MPa	200 MPa	300 MPa	0 MPa	200 MPa	300 MPa
Porcentaje de Sal	2,3%	1,5%	1,5%	1,5%	1,0%	1,0%	1,0%
Sal (g)	35,42	23,10	23,10	23,10	15,40	15,40	15,40
Polifosfatos (g)	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93
Nitrito (mg)	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0
Caseinato de sodio (g)	15,40	15,40	15,40	15,40	15,40	15,40	15,40
Agua (g)	489,02	494,34	494,34	494,34	502,04	502,04	502,04
Carragenato (g)	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70
Almidón (g)	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70
Aroma (g)	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70

*Las cantidades se expresan por kilogramo de carne

3. Variables Fisicoquímicas

pH

Los valores de pH, tanto de la carne de pavo como de la pechuga elaborada a partir de ésta, fueron determinados por el pH-metro de punción modelo 507 (Crison Instruments, Barcelona, España). Fue medido a partir de 10g de muestra previamente molida, por triplicado para cada tratamiento.

Actividad de Agua (A_w)

La actividad de agua fue medida con el equipo Decagon CX-2 AQUA LAB (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, USA), el cual se basa en la determinación del punto de rocío. La cantidad de muestra requerida es pequeña (equivalente a 15 ml). La medida se realiza por triplicado, tanto a la carne como a la pechuga de pavo cocida.

Humedad

El contenido de humedad fue determinado según la norma ISO 1442, método de referencia para determinar la humedad de carnes y productos cárnicos. El ensayo establece la medición del contenido de humedad por desecación de la muestra a 103°C hasta masa constante. La medida se realiza por triplicado, tanto a la carne de pavo como a la pechuga de pavo.

Porcentaje de grasa

La determinación del contenido de grasa se realizó con el método Soxhlet (norma ISO-1443). Este método se basa en extracciones continuas de la materia grasa usando como solvente éter de petróleo, sobre la muestra de carne una vez se le ha retirado la humedad. Las mediciones se realizan por triplicado para la carne fresca como para el producto. El resultado se expresa en porcentaje de grasa de extracto seco.

Porcentaje de proteína

Con el Método Kjeldahl se determina el contenido en proteínas (norma ISO R-936). El método se basa en la determinación de nitrógeno total obtenido por digestión de las proteínas con ácido sulfúrico, catalizada con selenio, transformando nitrógeno orgánico en iones amonio. Estos iones, en medio básico fuerte (NaOH 40%), se pueden destilar como amoniaco, que es recogido sobre ácido bórico. Se valora posteriormente con ácido clorhídrico calculando el nitrógeno presente en la muestra, y a partir de éste, la cantidad de proteína aplicando un factor de conversión (6,25 para productos cárnicos). La determinación se realizó por triplicado, tanto a la carne fresca como al producto.

Determinación de las Fracciones Proteicas

El nitrógeno total se puede clasificar en nitrógeno soluble, miofibrilar, desnaturalizado, estroma y nitrógeno no proteico. El método se basa en la diferente solubilidad de cada fracción en distintos medios tamponados. Una vez extraídas las fracciones, se toma 1 g de cada fracción y su contenido de nitrógeno se determina por el método Kjeldahl y los resultados se expresan en mg nitrógeno (N) / g extracto seco (ES). Protocolo extraído de Ordoñez Aguirre, (2001).

Nitrógeno soluble: 4 g de carne, son homogenizados con 20 ml de tampón fosfato 0,03 M pH 7,2, con un homogenizador Ultra-Turrax T25 (Ika-Labortechnik, Alemania), durante 2 minutos. El homogenizado se deja reposar 2 h a 5°C y se centrifuga a 20000g, 20 minutos a 5°C, recogiendo el sobrenadante previamente filtrado sobre lana de vidrio. Esta operación se repite de nuevo adicionando otros 20 ml del tampón usado previamente.

Nitrógeno no proteico: Se toman 10 ml del extracto anterior y se adiciona 10 ml de ácido tricloroacético 20%. Se deja reposar 5 min y se filtra sobre papel.

Nitrógeno sarcoplasmático: se expresa como la diferencia entre el nitrógeno soluble y el nitrógeno no-proteico.

Nitrógeno miofibrilar: Se extrae adicionando 20 ml de una solución salina de tampón fosfato 0,1 M, yoduro potásico 1,1 M, pH 7,2, sobre el sedimento resultante de la extracción del nitrógeno soluble. La muestra se homogeniza con el Ultra-Turrax T25 durante 2 min. El homogenizado se deja reposar 3 h a 5°C y se centrifuga a 20000g, 20 min a 5°C, recogiendo el sobrenadante previamente filtrado sobre lana de vidrio. Esta operación se repite de nuevo sobre el sedimento remanente.

Nitrógeno desnaturalizado: Se adicionan 20 ml de NaOH 0,1 N sobre el residuo resultante de la extracción anterior, homogenizado con el Ultra-Turrax T25 y dejando reposar la muestra 30 min. Se centrifuga a 20000g durante 20 min y se filtra el sobrenadante sobre lana de vidrio. La operación se repite una segunda vez.

Estroma: el residuo resultante tras las extracciones anteriores representa el estroma o tejido conjuntivo.

Todas las determinaciones anteriores se realizaron por triplicado sobre las muestras de carne tratada con altas presiones y su control.

Solubilidad Selectiva de Proteínas

Las proteínas se pueden clasificar según su solubilidad en dos soluciones de diferente fuerza iónica. Mediante este ensayo se determinan cambios estructurales, principalmente estructura terciaria y cuaternaria de las proteínas cárnicas de la pechuga de pavo. El ensayo consta de dos partes, la primera es la extracción de cada fracción en cada una de las soluciones, la segunda, es la determinación del contenido de proteína por un método espectrofotométrico.

Diez gramos de la pechuga de pavo fueron homogenizados en Ultra-Turrax T25 (Ika-Labortechnik, Alemania) por 90 s a 2 – 4°C con 50 ml de la solución A (NaCl 0,6 M), después es centrifugada por 30 min a 20000g a 4°C. El sobrenadante es removido y 50 ml de la solución A fue añadida al precipitado, el cual es precipitado por 1 h en el cuarto frío a 4°C. Es centrifugado a 20000g a 4°C durante 30 min y los dos sobrenadantes son mezclados y constituyen la fracción 1 o *Fracción Sal*. Al precipitado resultante se le añade 50 ml de la solución B (NaCl 0,6 M; Urea 8 M; 50:50) y es homogenizado (90 s, 2-4°C), agitado (24 h, 4°C) y centrifugado (20000g, 4°C, 30 min). El precipitado resultante se trata de nuevo. La combinación de los dos sobrenadantes constituye la fracción 2 o *fracción urea*.

La concentración de proteína es entonces determinada por el método de Lowry (Fernandez-Martín et al., 2002).

4. Variables Instrumentales

Color

La medida del color fue realizada sobre la superficie de cortes de la carne de pavo (ocho réplicas) y de la pechuga de pavo (seis réplicas) usando un espectrofotómetro de reflectancia (Minolta CM-2002, Osaka, Japón). El iluminante usado fue D65 (temperatura de color 6504 K) y la posición del observador estándar fue de 10°. Las coordenadas de color fueron determinadas en el sistema CIE LAB y los resultados fueron expresados en: luminosidad (L*), rojo – verde (a*) y amarillo – azul (b*).

Prueba de Corte (Warner–Bratzler)

Utilizando el texturómetro Texture Analyzer TA.XT2 (Stable Micro Systems, Haslemere, UK). El programa “The Texture Expert”, versión 1.20 (Español), fue usado para cada medición, almacenamiento de datos y cálculos. Al texturómetro se le acopló la sonda Warner–Bratzler. Se determinaron la fuerza máxima (fuerza de ruptura), en g; área bajo la curva fuerza-tiempo, en g*s; y la pendiente de la fuerza máxima, en g/s. La velocidad pre-ensayo fue de 1,5 mm/s; velocidad de ensayo

1,5 mm/s; velocidad post-ensayo 10 mm/s; y la distancia fue de 35 mm (establecida para garantizar el corte). La muestra, ya sea de carne de pavo o de pechuga tenía las siguientes dimensiones: 15 mm × 1,5 mm × 5,5 mm. La sonda se dispuso perpendicularmente a las fibras. Para la carne se realizaron seis réplicas por cada tratamiento (presión), y seis réplicas, en el caso de la pechuga por cada tratamiento *presión-porcentaje de sal*.

La evaluación de la textura de la carne de pavo se llevó a cabo con la sonda Warner–Bratzler, ya que en trabajos previos se encontraron fuertes y significativas correlaciones entre la terneza de la carne y la fuerza de corte (*shear*) utilizando la sonda de Warner–Bratzler (Bourne, 2002; Mohan et al, 2005).

Análisis de Perfil de Textura (TPA)

Esta prueba sólo se realizó sobre los productos; seis réplicas por cada tratamiento *presión-contenido en sal*. Las muestras se cortaron en cubos de 15 mm de arista. Se utilizó una sonda cilíndrica de 55 mm de diámetro. Los parámetros de la prueba fueron: 3,0 mm/s, velocidad pre-ensayo; 1,5 mm/s, velocidad de ensayo; 3,0 mm/ s, velocidad post-ensayo, 4 s, tiempo entre ciclos; compresión de 50% en cada ciclo. Se obtiene con cada determinación una curva de fuerza en función del tiempo, a partir de ella se calcularon los siguientes atributos: Dureza, fuerza máxima en la primera compresión, que refleja el comportamiento de la muestra en el primer mordisco; adhesividad, simula el trabajo necesario para contrarrestar las fuerzas de atracción entre la superficie de la sonda y la muestra, y área de la curva bajo la línea base; elasticidad, distancia de recuperación de la muestra tras el primer ciclo; cohesividad, cociente entre las áreas correspondientes a cada ciclo de compresión, que refleja la fuerza de los enlaces de unión que mantienen ligadas las distintas partes del alimento; masticabilidad, producto entre la dureza, cohesividad y elasticidad, que refleja la energía necesaria para reducir de tamaño un sólido hasta alcanzar el tamaño para ser deglutido.

5. Análisis Sensorial

Debido al elevado número de tratamientos a evaluar, siete en total, se decidió llevar a cabo este análisis en dos sesiones. En la primera, se evaluaron las muestras codificadas de los productos correspondientes a los controles para cada concentración de sal (1,0%; 1,5%; 2,3%) y las muestras de productos 200 MPa/1,0% y 300 MPa/1,0%.

Trece catadores entrenados en los aspectos metodológicos del análisis sensorial, pero no específicamente para este producto valoraron los siguientes atributos: **Color**; **Olor**; **Presencia de olores anómalos**; **Dureza**: resistencia al primer mordisco; **Desmenuzabilidad**: medida de la facilidad con la que la muestra se separa en partículas; **Masticabilidad**: esfuerzo necesario para masticar la muestra y reducirla a una consistencia adecuada para deglutir; **Jugosidad**: percepción de la humedad durante las primeras masticaciones; **Fibrosidad**: percepción de la estructura fibrilar (típica de cárnicos) como resultado de la masticación; **Sabor**: Intensidad global de sabor. Cada uno de ellos se valoró de uno a cinco, siendo uno el menor valor de cada atributo y cinco el máximo (figura 1).

EVALUACIÓN SENSORIAL DE LA PECHUGA DE PAVO				
Nombre.....		Fecha.....		Muestra.....
Valore la intensidad de los siguientes parámetros:				
Color				
1 (muy poco)	2	3	4	5 (muy intenso)
Olor				
1 (muy poco)	2	3	4	5 (muy intenso)
Presencia de olores anómalos				
1 (muy poco)	2	3	4	5 (muy intenso)
Dureza				
1 (muy poco)	2	3	4	5 (muy intenso)
Jugosidad				
1 (muy poco)	2	3	4	5 (muy intenso)
Desmenuzabilidad				
1 (muy poco)	2	3	4	5 (muy intenso)
Fibrosidad				
1 (muy poco)	2	3	4	5 (muy intenso)
Masticabilidad				
1 (muy poco)	2	3	4	5 (muy intenso)
Sabor				
1 (muy poco)	2	3	4	5 (muy intenso)
Sabor Salado				
1 (muy poco)	2	3	4	5 (muy intenso)

Figura 1: Formato utilizado en la evaluación sensorial de la pechuga de pavo

En la segunda sesión, se evaluaron muestras de los tratamientos: control/1%; 200 MPa/1,0%; 200 MPa/1,5%; 300 MPa/1,5%, y 300 MPa/1,0%.

Debido a que el análisis sensorial se llevó a cabo en dos sesiones fue necesario evaluar si los datos obtenidos podían ser analizados conjuntamente, para ello se procedió a evaluar estadísticamente si había diferencias significativas entre aquellas muestras comunes a ambas sesiones, es decir, las muestras: control/1%; 200 MPa/1,0% y 300 MPa/1,0%.

Con un nivel de confianza de 95%, no se encontró diferencia significativa para cada atributo sensorial evaluado, por lo tanto se procedió a analizar los datos obtenidos conjuntamente.

6. Análisis Estadístico

Se llevó a cabo el análisis de la varianza simple (One-Way ANOVA) para cada variable, teniendo en cuenta que para la carne tratada, la presión como factor; y para los productos, tanto la presión como el porcentaje de sal como factores. Para los productos, también se evaluó la interacción entre la presión y el porcentaje de sal (Two-Way ANOVA). En todos los casos, el nivel de confianza seleccionado fue de 95%.

Para conocer qué grupos son diferentes entre sí, una vez fijada la influencia del factor sobre los datos, se determina qué valores son significativamente distintos entre sí mediante la aplicación del test de Fisher LSD (Least Significant Difference), para un nivel de significación del 95%.

El software utilizado fue Statgraphics Plus 5.1 (Statistical Graphics Corp., 2000)

Para determinar diferencias y similitudes entre los diferentes tratamientos, se realizaron diferentes análisis de componentes principales (PCA). El PCA permite determinar correlaciones entre parámetros de diferente naturaleza. La importancia de analizar este grupo de parámetros conjuntamente por medio de análisis estadístico multivariante se debe al hecho de que existe una relación entre los componentes de los alimentos y sus propiedades organolépticas. En los productos cárnicos, la calidad organoléptica depende de la estructura y/o funcionalidad de las macromoléculas, especialmente de las proteínas (Patterson et al, 2006), como se ha mencionado en varios estudios sobre el color (Moss, 2002; Rubio et al., 2007; Piertrzak et al., 2007; Le Bail et al., 2001; Cheftel & Culioli, 1997; Mor-Mur & Yuste, 2003); sobre la textura (Patterson et al., 2006; Fellows, 2000; Balasubbramaniam et al., 2008); y calidad sensorial y percepción de los consumidores (Crehan et al., 2000; Hogan et al., 2005; Barbut, 2000).

El software utilizado fue Minitab® Release 14.1 (Minitab Inc., 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Carne de Pavo Tratada a Altas Presiones

Parámetros físico-químicos

Los valores medios de los parámetros pH; actividad de agua A_w ; porcentaje de humedad; porcentaje de grasa y el porcentaje de proteína de la carne de pavo se pueden observar en la tabla 2, teniendo como factor del ANOVA la presión a la que fue sometida la carne. También se puede encontrar el nivel de significancia obtenido del análisis de la varianza que se realizó sobre los datos experimentales.

Tabla 2: Parámetros físico-químicos según la presión del tratamiento

Variables Físicoquímicas	Presión (MPa) ⁺			Nivel de Significancia
	0	200	300	
pH	5,78 ± 0,01 ^a	5,88 ± 0,01 ^b	5,90 ± 0,01 ^c	***
A_w	0,985 ± 0,001 ^a	0,991 ± 0,001 ^b	0,992 ± 0,001 ^b	***
Humedad (%)	73,53 ± 0,15 ^a	74,32 ± 0,05 ^b	74,00 ± 0,16 ^c	***
Grasa (%)	0,68 ± 0,05 ^b	0,32 ± 0,06 ^a	0,39 ± 0,02 ^a	***
Proteína (%)	25,08 ± 0,48	24,40 ± 0,35	22,94 ± 1,91	NS

⁺Valores Medios ± Desviación estándar

Nivel de significancia: (*) p<0,05; (**) p<0,01; (***) p<0,001; (NS) No significativo

Diferentes letras (a, b, c) en la misma fila indican diferencias significativas

Análisis proximal, pH y Actividad de agua

El pH, la actividad de agua, el porcentaje de humedad y el porcentaje de grasa presentaron diferencias estadísticamente significativas respecto al tratamiento de altas presiones.

El valor del pH aumenta a medida que aumenta la presión del tratamiento. Estudios anteriores determinaron (Cheftel & Culioli, 1997) que el valor de pH decrece entre 0,2 a 0,5 por cada 100 MPa, como consecuencia de un aumento del producto iónico del agua.

En este caso los autores explican el fenómeno afirman que el cambio de pH por acción de altas presiones es un proceso reversible, por cambios en los equilibrios ácido-base de los compuestos presentes en la matriz del alimento cuya estructura es modificada por la acción mecánica a la que es sometido el alimento. Sin embargo, en otro estudio (Kelly et al., 2004) se encontró un incremento de los valores de pH de las almejas tratadas con altas presiones respecto a aquellas que no fueron tratadas.

De acuerdo con Angsupanich & Ledward (1998) y Ma & Ledward (2004) se debe a una disminución de los grupos ácido disponibles en las proteínas musculares. Esto es una justificación del aumento del valor de pH encontrado en este estudio.

La actividad de agua (A_w) de la carne aumenta con el tratamiento a altas presiones, aunque sólo presenta diferencia significativa entre el control y la carne tratada independiente del valor de la presión.

Este aumento de la A_w se debe a que la presión redistribuye y/o destruye los enlaces débiles tales como puentes de hidrógeno e interacción hidrofóbica de la estructura terciaria de las proteínas (Ko et al, 2005), siendo estos dos tipos de enlace los relacionados con la actividad de agua.

Se puede observar que existe una diferencia significativa entre cada tratamiento, respecto al porcentaje de humedad. Balasubramaniam et al. (2008) en su estudio sobre pechuga de pavo sometida a altas presiones, encontraron que la humedad de las muestras tratadas siempre fue más alta que la de las

muestras sin tratar debido a que la aplicación de presión conlleva un incremento en la capacidad de retención de agua de las proteínas.

Los mismos autores creen que al aumentar la intensidad del tratamiento, ya sea aumentando la presión por encima de 150 MPa o el tiempo de aplicación, la capacidad de retención de agua puede disminuir debido a cambios a nivel proteico. Lo anterior explica la disminución del porcentaje de humedad de la carne tratada a 300 MPa respecto a aquella tratada a 200 MPa.

El porcentaje de grasa presentó una diferencia significativa de las muestras tratadas respecto de aquellas que no fueron sometidas a altas presiones. No se ha encontrado trabajos anteriores que estudiaran este parámetro.

Fracciones Nitrogenadas

Cuando se aplican altas presiones a carne en post-rigor, no se induce a la contracción pero se pueden observar modificaciones considerables en lo referente a la estructura de los sarcómeros (Cheftel & Culioli, 1997).

Con ello se busca mejorar la textura de la carne y/o de los productos cárnicos derivado de ésta. Estos cambios estructurales se deben principalmente a cambios a nivel proteico (Cheftel & Culioli, 1997; Messens, Van Camp, & Huyghebaert, 1997; Crehan, Troy, & Buckley, 2000; Le Bail, Chevalier, & Ghoul, 2001; Desmond, 2006), por ello es necesario estudiar los cambios en las fracciones nitrogenadas debido a la presión.

Los valores determinados en este estudio de las fracciones nitrogenadas se observan en la tabla 3.

Tabla 3: Fracciones nitrogenadas de la carne de pavo respecto a la presión aplicada

Fracciones Nitrogenadas (mg N/g extracto seco)	Presión (MPa) ⁺			Nivel de Significancia
	0	200	300	
Nitrógeno Soluble	49,37±17,10	30,53±3,77	30,16±2,15	NS
Nitrógeno No-Proteico	14,10±2,44	14,54±2,52	14,36±2,49	NS
Nitrógeno Sarcoplasmático	35,26±14,10	15,99±5,49	15,80±4,48	NS
Nitrógeno Miofibrilar	14,10±2,44	20,36±2,51	18,67±4,48	NS
Nitrógeno Desnaturalizado	5,64±2,44 ^a	10,90±2,18 ^b	28,00±2,15 ^c	***
Estroma	82,52±13,60 ^a	126,41±4,53 ^b	82,79±4,48 ^a	**

⁺Valores Medios ± Desviación estándar

Nivel de significancia: (*) p<0,05; (**) p<0,01; (***) p<0,001; (NS) No significativo

Diferentes letras (a, b, c) en la misma fila indican diferencias significativas

Las fracciones nitrogenadas de la carne: soluble; no-proteica; sarcoplasmática y miofibrilar no se vieron afectadas significativamente debido al tratamiento de altas presiones, mientras que las fracciones de nitrógeno desnaturalizado y estroma presentaron diferencias significativas.

En este trabajo, ni la fracción nitrogenada miofibrilar ni la soluble, se vieron significativamente afectadas al comparar los valores medios del control con los valores de los tratamientos a 200 MPa y 300 MPa. Estudios previos han demostrado que la presión afecta principalmente a las proteínas miofibrilares, incrementando la solubilidad de éstas por procesos de despolimerización (Cheftel & Culioli, 1997; Jiménez-Colmenero et al, 1998; Jiménez-Colmenero et al, 2001; Iwasaki et al, 2006). Cabe notar que en estos estudios la metodología aplicada se basa en métodos electroforéticos y estructurales, principalmente técnicas microscópicas, mientras que la técnica usada en este estudio se basó en la solubilidad de cada fracción nitrogenada.

El análisis de la varianza realizado sobre el parámetro *nitrógeno sarcoplasmático* mostró que no existen diferencias significativas de éste respecto al factor *presión* (p = 0,0738). La media de la carne control es considerablemente mayor que la del resto de tratamientos, pero con una desviación típica alta.

A pesar de que el p-valor es ligeramente mayor a nivel de significancia seleccionado (95%), su análisis es relevante para este estudio. La importancia de la fracción sarcoplasmática radica en que las proteínas que le dan la coloración a la carne, *mioglobina* y *hemoglobina*, pertenecen a este grupo (Barbut, 2000; Kauffman, 2001). Ko et al. (2005) en su estudio acerca de tratamiento de altas presiones sobre carne de tilapia, encontraron que la fracción de proteínas sarcoplasmáticas no fueron afectadas por la presión.

La fracción de nitrógeno desnaturizado fue la única fracción que presentó diferencias estadísticamente significativas entre cada tratamiento, aumentando su valor a medida que la presión aplicada aumentaba. Esta fracción se caracteriza porque en ella se encuentra una parte importante de proteínas cuyas estructuras terciaria y cuaternaria han sido modificadas, es decir se han *desnaturalizado*, efecto conocido de la aplicación de altas presiones sobre las proteínas.

En este estudio, la fracción estroma presenta diferencias significativas entre la carne tratada a 200 MPa respecto a los otros dos tratamientos. Es probable que la diferencia encontrada se deba a la variabilidad de la muestra, ya que el tratamiento de altas presiones no afecta a esta fracción nitrogenada (Cheftel & Culioli, 1997). Esta fracción está constituida por las proteínas insolubles en agua y en soluciones salinas, principalmente por proteínas de tejidos conectivo, como el colágeno y la elastina (Barbut, 2002).

Parámetros instrumentales

En la tabla 4 se observan los valores de las coordenadas de color en el sistema CIE L*a*b* y de los parámetros de textura, fuerza máxima, área y pendiente, determinados con la prueba de corte con la sonda Warner-Bratzler.

Tabla 4: Valores del Color y de la textura (Warner-Bratzler) para la carne de pavo según la presión aplicada

Variables Sensoriales medidas Instrumentalmente		Presión (MPa)			Nivel de significancia
		0	200	300	
Color	L*	45,77 ± 0,68 ^a	55,13 ± 0,88 ^b	67,24 ± 1,44 ^c	***
	a*	2,15 ± 1,24 ^b	0,30 ± 0,52 ^a	1,55 ± 0,57 ^b	**
	b*	3,53 ± 1,82 ^a	6,59 ± 1,01 ^b	10,05 ± 0,68 ^c	***
Textura (Warner - Bratzler)	Fuerza Máxima (g)	1712,60 ± 607,49 ^a	1520,87 ± 666,97 ^a	2641,95 ± 897,99 ^b	*
	Área (g s)	15905 ± 5429 ^{ab}	13505 ± 4195 ^a	22200 ± 6236,9 ^b	*
	Pendiente(g/s)	174,57 ± 66,80	162,95 ± 85,533	229,63 ± 109,09	NS

*Valores Medios ± Desviación estándar

Nivel de significancia: (*) p<0,05; (**) p<0,01; (***) p<0,001; (NS) No significativo

Diferentes letras (a, b, c) en la misma fila indican diferencias significativas

Las tres coordenadas de color, L*, a* y b*, presentaron diferencias significativas según el análisis de la varianza para la presión como factor, con un nivel de confianza del 95%.

La textura de la carne evaluada instrumentalmente por medio de la prueba de corte presentó diferencias significativas para los parámetros fuerza máxima y área.

Color

La luminosidad (L*) aumenta considerablemente a medida que la presión aplicada aumenta. Este efecto, según Goutenfongea et al. (1995) ha sido encontrado en otros estudios, donde se mostraron incrementos de luminosidad de carne de vaca, cerdo y jamón cocido cuando se les ha tratado con altas presiones (Moss, 2002). Kelly et al.(2004), encontraron una tendencia similar en su estudio de altas presiones aplicada sobre ostras.

El incremento en el valor de la luminosidad se debe a la desnaturización de la proteína en la carne (Moss, 2002; Kelly et al., 2004), precisamente la desnaturización de la fracción globina de la mioglobina (Cheftel et al., 1995).

Cheftel & Culioli (1997) afirman que en la práctica, el procesamiento a presión de carne no debe ser tenido en cuenta a menos que ésta sea cocinada previamente al tratamiento con altas presiones o si se trata de un producto *listo para comer*. Esto se debe a que los cambios de color por aplicación de altas presiones resultan en productos que se asemejan a carne cocinada y la pérdida de color en carne es un aspecto importante de la calidad, lo que afecta su aceptabilidad por parte del consumidor (Hugas et al., (2002). Esto limita el uso de las altas presiones en carne fresca.

Se observa en la tabla 4 que el valor de la coordenada a^* (color rojo – verde) es menor en la carne a la que se le aplicó altas presiones respecto del control, coincidiendo con el estudio de Kerry et al., (2002). Cheftel et al. (1995) afirman que la descolorización de la carne puede ser resultado de: (1) un efecto de *blanqueamiento* en el rango de 200 a 350 MPa, debido a la desnaturalización y/o la liberación o desplazamiento del grupo hemo, y (2) la oxidación de la mioglobina ferrosa a metamioglobina férrica a 400 MPa. En este estudio, se evitó este último fenómeno con la eliminación total de oxígeno; el envasado al vacío y las condiciones de procesado inferiores a 400 MPa.

En este estudio se encontró que la coordenada b^* aumenta a medida que la presión aplicada sobre la carne aumenta, presentándose diferencias significativas entre cada tratamiento. Según Cheftel et al. (1995) y Ledward (1998), el valor de la coordenada b^* se mantiene constante, contrario a lo hallado en este estudio, aunque los estudios mencionados se realizaron con carne diferente a la de pavo.

Prueba de Corte – Warner-Bratzler

En cuanto al estudio de la textura, la fuerza máxima presentó una diferencia significativa entre el valor medio de la carne sin tratar junto con la carne tratada a 200 MPa, y la carne tratada a 300 MPa, tal como se muestra en la tabla 4. El área presentó una diferencia significativa entre la carne tratada a 200 MPa y aquella tratada a 300 MPa.

A 200 MPa, el valor medio tanto de la fuerza máxima como del área, disminuye respecto del control, y el valor medio a 300 MPa es mayor que el de los otros tratamientos, esto permite inferir que hay un valor de presión “óptimo” que hace que la fuerza y energía de corte sea menor, por lo tanto es probable que conlleve a una percepción sensorial de carne más tierna.

Balassubramaniam et al. (2008), encontraron en su estudio sobre fenómenos de transporte en pechuga de pavo a la que se sometió a altas presiones, que a 150 MPa durante 0,1 s, se obtenían valores mínimos de dureza, gomosidad y masticabilidad, medidos instrumentalmente. Cuando el valor de la presión aplicada se incrementa por encima de 150 MPa, los parámetros instrumentales aumentan su valor. Según Angsupanich et al. (1998) hasta 200 MPa hay una pérdida reversible de la estructura de miosina del músculo, y por encima de 400 MPa aumenta la dureza de las muestras debido a la estabilización del gel inducida por presión mediante la formación de puentes de hidrógeno. Este razonamiento explicaría los resultados encontrados en este estudio.

Análisis de Componentes Principales (PCA) para los diferentes parámetros evaluados

Este análisis estadístico multivariante permite observar las diferencias o similitudes de los tratamientos estudiados analizando conjuntamente los diferentes parámetros evaluados, físico – químicos e instrumentales.

También se realizó este análisis sobre los parámetros comunes, tanto físico.-químicos como instrumentales, a la carne de pavo y la pechuga elaborada a partir de ésta.

Análisis de Componentes Principales de los Parámetros Físico - químicos e Instrumentales

En la tabla 5 se muestran los tres primeros componentes principales analizando los parámetros físico-químicos e instrumentales de la carne de pavo tratada con altas presiones.

Tabla 5: Peso (Loadings) de los parámetros físico-químicos e instrumentales de la carne de pavo tratada en los tres primeros Componentes Principales (PC)

	Variable	PC1	PC2	PC3
Variables Físicoquímicas	pH	0,333	0,100	-0,051
	Aw	0,339	0,087	-0,044
	%Humedad	0,241	0,335	0,081
	%Proteína	-0,286	0,160	0,266
	Soluble	-0,303	-0,155	0,079
	No-Proteico	0,029	0,023	0,375
	Sarcoplasmático	-0,308	-0,158	0,033
	Miofibrilar	0,247	0,168	0,245
	Desnaturalizado	0,299	-0,177	-0,213
	Estroma	0,076	0,465	0,189
Variables Instrumentales	L*	0,323	-0,128	-0,111
	a*	-0,137	-0,204	-0,497
	b*	0,302	-0,063	-0,240
	Fuerza Max	0,183	-0,395	0,297
	Área	0,161	-0,426	0,194
	Pendiente	0,129	-0,346	0,432
	Eigenvalue	8,2097	3,4454	1,8816
% varianza explicada	0,513	0,215	0,118	
Varianza Acumulada	0,513	0,728	0,846	

El primer componente principal (PC1) explica un porcentaje considerable de la varianza del conjunto de datos (51,3%), mientras que el segundo componente principal (PC2) explica el 21,5%. En conjunto explican el 72,8%.

En la figura 2 se muestran los *scores* (puntuajes) y *loadings* (pesos) de los dos primeros componentes principales:

Como se observa en el gráfico de *puntuajes*, las muestras se pueden agrupar en tres grupos. Cada uno de estos grupos corresponde a cada tratamiento de altas presiones realizado, 200 MPa (rojo); 300 MPa

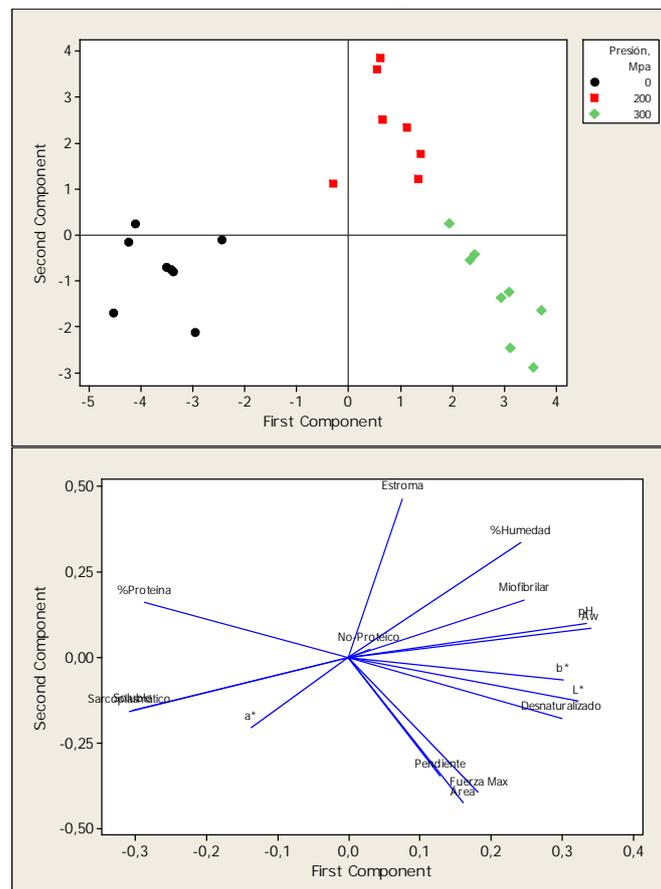


Figura 2: Puntuajes (arriba) y Pesos (abajo) del primer y segundo componente de los parámetros físico-químicos e instrumentales para la carne de pavo

(verde), y control (negro).

El gráfico de *puntajes* permite afirmar que:

- El primer componente está correlacionado con la presión
- La carne control es diferente que la carne tratada con altas presiones
- La carne obtenida de cada tratamiento es diferente entre sí

El análisis de componentes principales permite observar la relación existente entre las diferentes fracciones nitrogenadas con el color de la carne.

- En el gráfico de *pesos* (figura 2, abajo) en la tabla 5, se observa una correlación negativa entre el contenido de nitrógeno sarcoplasmático y las coordenadas del color L* y b*.
- Correlación positiva de la fracción sarcoplasmática con la coordenada a* en PC1.
- Correlación entre la luminosidad y el nitrógeno desnaturizado en el mismo componente principal.

Estas correlaciones entre los parámetros de color y las distintas fracciones nitrogenadas son esperadas debido a la relación que existe entre color y proteína. El color de la carne es resultado de una combinación del contenido de mioglobina y la reflexión de la luz de la proteína desnaturizada (Kerry et al., 2002), siendo la mioglobina una proteína sarcoplasmática (Barbut, 2002).

En PC1, pH y A_w presentan valores de *loadings* altos. Esto se debe a que el valor de estos parámetros, como se mencionó en el apartado acerca de los parámetros físico-químicos de la carne de pavo tratada con altas presiones, dependen de la presión aplicada.

En PC2, los parámetros de textura de la prueba de corte presentan los valores de *loadings* más altos y están negativamente correlacionados con el contenido de la fracción estroma. Esta fracción está constituida principalmente por proteínas de tejido conectivo, proteínas que proporcionan a la carne con mayor dureza y fibrosidad (Barbut, 2002), lo que hace que se requiera más fuerza y energía para cortar transversalmente la carne.

Análisis de Componentes Principales de los Parámetros Físico - Químicos e Instrumentales comunes a la Carne de Pavo y la Pechuga de Pavo

Este análisis tiene como propósito evaluar tanto las muestras de carne de pavo tratada como los productos elaborados a partir de ésta. Para ello es necesario realizar el análisis de componentes principales usando como variables aquellos parámetros comunes tanto a la carne como a la pechuga de pavo.

Los parámetros analizados fueron:

- Físico- químicos*: pH, A_w , %Humedad, %Proteína
- Color*: L*, a*, b*
- Textura (Warner-Bratzler)*: Fuerza máxima, Área, Pendiente.

Los tres primeros componentes principales explican en conjunto el 87,2% de la varianza. Se muestra la matriz de *loadings*, los autovalores, la varianza explicada y la varianza acumulada de cada componente principal en la tabla 6.

Tabla 6: Peso (Loadings) de los parámetros físico-químicos e instrumentales comunes de la carne de pavo tratada y la pechuga de pavo cocida en los tres primeros Componentes Principales (PC)

		PC1	PC2	PC3
Parámetros Físico - Químicos	pH	0,389	-0,215	0,117
	A_w	-0,164	-0,085	-0,722
	%Humedad	0,393	-0,182	0,165
	%Proteína	-0,373	0,204	-0,260

Color (CIE L*a*b*)	L*	0,357	-0,334	-0,122
	a*	0,296	0,002	-0,182
	b*	0,154	-0,439	-0,492
Textura Warner –Bratzler)	Fuerza Max	-0,318	-0,459	0,158
	Área	-0,300	-0,459	0,141
	Pendiente	-0,313	-0,407	0,188
	eigenvalue	5,5393	1,8375	1,3403
	Varianza explicada	0,554	0,184	0,134
	Var. Acum.	0,554	0,738	0,872

Las variables con más *peso* en el primer componente, el cual explica 55,4% de la varianza son pH, porcentaje de humedad, porcentaje de proteína, L*, y los parámetros de textura. Estas variables son aquellas que presentan una mayor variabilidad de la carne de pavo respecto a la pechuga elaborada a partir de ésta. Una mejor interpretación de los resultados del análisis de componentes principales se puede hacer al observar el gráfico de *puntajes* y de *pesos* de los dos primeros componentes principales (figura 3).

En el gráfico de *puntajes* de las dos primeras componentes, se observa dos grupos donde se encuentran las muestras analizadas. A la izquierda del gráfico, dentro de la elipse roja, se encuentran las muestras de carne de pavo. En este grupo, las muestras son dispersas entre sí y es posible diferenciar subgrupos dependiendo de la presión aplicada, es decir que dependiendo del valor de presión aplicada se obtendrán materias primas de distintas características físico – químicas e instrumentales.

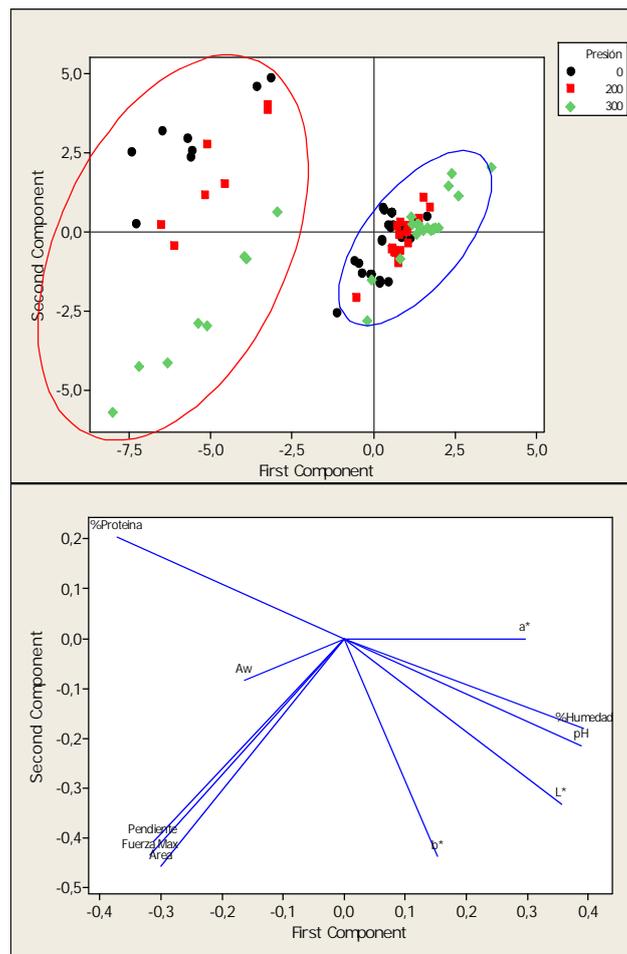


Figura 3: Puntajes (arriba) y pesos (abajo) del primer y segundo componente de los parámetros físico-químicos e instrumentales comunes de la carne de pavo y de la pechuga de pavo

Dentro de la elipse azul, se encuentran las muestras de pechuga de pavo. Contrario a la carne, éstas son más similares entre sí, y es difícil establecer subgrupos según la presión aplicada. La importancia de esto radica en que es posible obtener productos con características físico-químicas e instrumentales similares con diferentes valores de presión, a pesar de que la materia prima sea heterogénea. El anterior resultado sólo es válido teniendo en cuenta sólo aquellos parámetros comunes.

A continuación se muestran detalladamente los resultados del producto elaborado a partir de carne a la que se le aplicó altas presiones: *pechuga de pavo*.

Pechuga de pavo elaborada con carne tratada a altas presiones

Parámetros físico-químicos

Análogamente a la carne de pavo, se determinaron los valores de los parámetros físico-químicos: pH, actividad de agua A_w , porcentaje de humedad, porcentaje de grasa, porcentaje de proteína, y fracciones proteicas de los productos medidas según el método de solubilidad selectiva de proteínas.

En las tablas 7 y 8 se pueden encontrar los valores medios de cada parámetro según la presión aplicada sobre la materia prima utilizada para su preparación y el porcentaje de sal de la formulación, así como el nivel de significancia para los factores presión y porcentaje de sal, respectivamente.

Tabla 7: Parámetros físico-químicos de la pechuga cocida elaborada a partir de la carne tratada con altas presiones

(Factor: Presión)

Variables Físicoquímicas	Presión (MPa)			Nivel de significancia Presión
	0	200	300	
pH	6,32 ± 0,04 ^a	6,37 ± 0,01 ^b	6,36 ± 0,03 ^b	**
Aw	0,984 ± 0,006	0,984 ± 0,002	0,985 ± 0,003	NS
Humedad (%)	77,71 ± 0,42	77,66 ± 0,04	77,99 ± 0,12	NS
Grasa (%)	0,22 ± 0,05 ^a	0,38 ± 0,05 ^b	0,21 ± 0,03 ^a	***
Proteína (%)	17,52 ± 0,42	18,05 ± 0,79	18,00 ± 0,50	NS
Fracción Sal (SAB ppm)	66,24 ± 17,04 ^b	33,03 ± 5,23 ^a	77,71 ± 3,89 ^c	***
Fracción Urea (SAB ppm)	565,31 ± 179,77 ^a	788,89 ± 180,36 ^b	665,90 ± 81,92 ^a	***

*Valores Medios ± Desviación estándar

Nivel de significancia: (*) p<0,05; (**) p<0,01; (***) p<0,001; (NS) No significativo

Diferentes letras (a, b, c) en la misma fila indican diferencias significativas para cada factor

Tabla 8: Parámetros físico-químicos de la pechuga cocida elaborada a partir de la carne tratada con altas presiones

(Factor: %Sal)

Variables Físicoquímicas	Contenido en sal (%)			Nivel de significancia %Sal
	1,0 %	1,5 %	2,3 %	
pH	6,35 ± 0,05	6,35 ± 0,02	6,30 ± 0,01	NS
Aw	0,986 ± 0,001 ^c	0,983 ± 0,001 ^b	0,975 ± 0,007 ^a	***
Humedad (%)	77,65 ± 0,29 ^a	77,99 ± 0,25 ^b	77,47 ± 0,13 ^a	*
Grasa (%)	0,29 ± 0,06	0,26 ± 0,13	0,22 ± 0,02	NS
Proteína (%)	18,16 ± 0,79	17,32 ± 0,17	17,92 ± 0,03	NS
Fracción Sal (SAB ppm)	59,27 ± 22,93	58,72 ± 23,05	64,20 ± 8,35	NS
Fracción Urea (SAB ppm)	618,55 ± 91,61	711,57 ± 93,49	575,56 ± 111,27	NS

*Valores Medios ± Desviación estándar

Nivel de significancia: (*) p<0,05; (**) p<0,01; (***) p<0,001; (NS) No significativo

Diferentes letras (a, b, c) en la misma fila indican diferencias significativas para cada factor

La presión aplicada sobre la carne utilizada como materia prima para la elaboración de pechuga de pavo tiene influencia significativa sobre algunos parámetros físico-químicos del producto tales como: pH, porcentaje de grasa y las fracciones proteicas. Análogamente, el porcentaje de sal en la formulación afecta a la actividad de agua, y al porcentaje de humedad. No hay parámetro que presente diferencias significativas debida a ambos factores.

En el caso del pH, es claro que está determinado por las características de la materia prima, específicamente de la carne, ya que el resto de los ingredientes se mantienen constantes en los siete tratamientos (presión – contenido de sal) realizados.

Los parámetros a_w y porcentaje de humedad presentaron diferencias significativas respecto al factor contenido de sal. Contrario a lo encontrado para la carne de pavo, estos parámetros no presentaron diferencias significativas cuando se realizó el análisis de la varianza teniendo a la presión como factor.

La variabilidad que presenta el parámetro porcentaje de grasa, al igual que en la carne, se debe a factores intrínsecos del contenido de grasa en ésta como se ha mencionado anteriormente. La fracción proteica soluble en soluciones salinas de las pechugas de pavo está fuertemente influenciada por la presión del tratamiento de altas presiones a la que fue sometida la carne de pavo respecto del control. La fracción soluble en urea también presenta diferencias significativas cuando se realiza el análisis de la varianza con la presión como factor. El ensayo de la solubilidad selectiva de proteínas da como resultado que las distintas fracciones proteicas del producto están influenciadas por la presión aplicada a la carne utilizada como materia, debido a los cambios a nivel proteico producidos por el tratamiento de altas presiones.

Para comprender este resultado, es necesario establecer las características de cada fracción. Las fracciones de proteínas soluble en soluciones salinas, según Kauzmann (1959), están asociadas con proteínas que mantienen en una conformación parecida a la nativa, intermolecularmente asociada por enlaces electrostáticos. La fracción soluble en urea está compuesta de agregados proteicos unidos intermolecularmente por interacciones hidrofóbicas y puentes de hidrógeno (Fernandez-Martín et al., 2002), y como comenta Cheftel (1992), la desnaturalización de la proteína por altas presiones es causada por la redistribución y/o destrucción de los enlaces no-covalentes (Ko et al., 2005).

Parámetros instrumentales

Se puede observar el valor medio, la desviación estándar, así como el nivel de significancia de cada una de las propiedades sensoriales medidas instrumentalmente, color y textura.

La textura fue determinada por dos pruebas: la prueba de corte y el análisis de perfil de textura (TPA). La prueba de corte se realizó con la sonda Warner-Bratzler, tal como en la carne de pavo. El análisis de perfil de textura, el cual es un ensayo imitativo, se realizó con sonda cilíndrica tal como se explica en la sección *Materiales y Métodos*.

En la tabla 9 se observan los valores de cada uno de los parámetros respecto al factor *presión* y en la tabla 10 respecto al factor *contenido de sal*.

Tabla 9: Parámetros instrumentales de la pechuga cocida elaborada a partir de la carne tratada con altas presiones (Factor: Presión)

	Variables	Presión (MPa)			Nivel de Significancia
		0	200	300	
Color CIE LAB	L*	72,15 ± 2,55 ^a	74,72 ± 1,34 ^b	78,63 ± 1,27 ^c	***
	a*	2,31 ± 0,50 ^a	2,76 ± 0,65 ^b	3,11 ± 0,48 ^b	***
	b*	7,87 ± 1,31	8,13 ± 0,68	8,03 ± 0,77	NS
Textura Warner- Bratzler	Fuerza Máxima (g)	1388,82 ± 390,64	1355,12 ± 233,62	1172,11 ± 543,10	NS
	Área (g s)	13698 ± 3703	11837 ± 2989	11464 ± 5818	NS
	Pendiente (g/s)	132,71 ± 44,80	133,69 ± 45,37	98,14 ± 47,75	NS
Textura TPA	Dureza (g)	4841,52 ± 1415,76 ^b	4350,41 ± 693,32 ^b	2485,92 ± 658,93 ^a	***
	Cohesividad	0,392 ± 0,04 ^b	0,392 ± 0,02 ^b	0,342 ± 0,03 ^a	**
	Adhesividad (g)	6,58 ± 5,36	9,07 ± 2,82	6,34 ± 4,01	NS
	Elasticidad	0,785 ± 0,04 ^c	0,752 ± 0,03 ^b	0,632 ± 0,05 ^a	***
	Masticabilidad(g)	1372,27 ± 788,96 ^b	1282,00 ± 266,11 ^b	507,77 ± 208,14 ^a	***

^aValores Medios ± Desviación estándar

Nivel de significancia: (*) p<0,05; (**) p<0,01; (***) p<0,001; (NS) No significativo

Diferentes letras (a, b, c) en la misma fila indican diferencias significativas para cada factor

Tabla 10: Parámetros instrumentales de la pechuga cocida elaborada a partir de la carne tratada con altas presiones (Factor: % Sal)

	Variables	Contenido en sal (%)			Nivel de Significancia %Sal
		1,0 %	1,5 %	2,3 %	
Color CIE LAB	L*	75,98 ± 2,78 ^b	75,24 ± 2,92 ^b	69,65 ± 0,85 ^a	***
	a*	2,93 ± 0,37 ^b	2,55 ± 0,79 ^a	2,21 ± 0,39 ^a	*
	b*	8,36 ± 0,91 ^b	8,10 ± 0,70 ^b	6,33 ± 0,44 ^a	***
Textura Warner-Bratzler	Fuerza Máxima (g)	1233,73 ± 315,67	1382,68 ± 449,69	1379,78 ± 672,02	NS
	Área (g s)	12067 ± 3032	12862 ± 5463	12445 ± 5031	NS
	Pendiente (g/s)	119,38 ± 45,97	124,28 ± 49,24	131,42 ± 69,11	NS
Textura TPA	Dureza (g)	3400,16 ± 831,95	3818,67 ± 1403,55	5390,12 ± 1292,56	NS
	Cohesividad	0,361 ± 0,04 ^a	0,373 ± 0,05 ^a	0,421 ± 0,06 ^b	**
	Adhesividad (g)	6,06 ± 4,02	7,70 ± 3,33	7,61 ± 6,31	NS
	Elasticidad	0,702 ± 0,70 ^a	0,730 ± 0,07 ^a	0,814 ± 0,02 ^b	**
	Masticabilidad(g)	873,18 ± 414,84 ^a	1092,43 ± 790,10 ^a	2017,33 ± 771,02 ^b	***

^aValores Medios ± Desviación estándar

Nivel de significancia: (*) p<0,05; (**) p<0,01; (***) p<0,001; (NS) No significativo

Diferentes letras (a, b, c) en la misma fila indican diferencias significativas para cada factor

De los once parámetros instrumentales determinados en este estudio, cinco de ellos presentaron diferencias significativas tanto para el factor presión como contenido de sal: L*; a*; cohesividad; elasticidad y masticabilidad. La dureza, parámetro determinado mediante el análisis de perfil de textura, presentó diferencias para el factor presión, y al igual que la coordenada b* para el factor contenido de sal.

Color

El valor de la luminosidad de las pechugas de pavo cocidas elaboradas con carne tratada con altas presiones es mayor que la del control. A medida que el contenido en sal aumenta, el valor de este parámetro disminuye, es decir el producto se hace más opaco. Para ambos factores, presión y porcentaje de sal, se encontraron diferencias significativas, pero su interacción no es significativa ($p > 0,05$), es decir que los efectos de cada factor pueden estudiarse por separado.

Al igual que la luminosidad, la coordenada a*, presenta diferencia significativa tanto por el factor presión como por el contenido en sal. Su valor está directamente relacionado con el valor de la presión aplicada e indirectamente relacionado con el porcentaje en sal. La interacción en este caso es significativa ($p < 0,01$), esto conlleva que el valor de a* es afectado conjuntamente por la presión y el contenido en sal y sus efectos no son aditivos, esto no permite establecer la influencia real de la presión o del porcentaje de sal sobre la coordenada a*.

Siendo las coordenadas L* y a* las más importantes en los productos cárnicos por su relación con la calidad (Válková et al., 2007), la elaboración de la pechuga de pavo cocida baja en sal con una carne tratada con altas presiones conlleva obtener un producto de color más claro respecto de utilizar carne sin tratar, y de color rojizo. Para minimizar este efecto sobre el color es necesario que la presión aplicada sea la menor posible.

Al contrario que en el caso de la carne tratada, la coordenada b* no presenta diferencia significativa entre los productos respecto a la presión, lo cual está contemplado en las referencias consultadas (Cheffel et al., 1995; Kerry et al., 2002), aunque presenta diferencia para el factor contenido de sal.

Prueba de Corte – Warner-Bratzler

Los parámetros de textura determinados por la prueba de Warner–Bratzler (fuerza máxima, área y pendiente) no presentan diferencias significativas respecto a los dos factores analizados. Esto puede deberse a que esta prueba no sea adecuada para evaluar la textura de este tipo de producto, tal como lo afirman Ruiz de Huidobro et al. (2005), ya que recomiendan la medición de los atributos de textura de productos cárnicos con la análisis de perfil de textura (TPA), y la prueba con la sonda Warner–Bratzler para carne fresca.

Análisis del Perfil de Textura

El parámetro del TPA, dureza presentó diferencias para el factor *presión*; cohesividad, elasticidad y masticabilidad presentaron diferencias significativas tanto para el factor *presión* como para el factor *contenido en sal*. La adhesividad no mostró diferencias para ninguno de los dos factores.

Es destacable el hecho que se presente una disminución en el valor de la dureza, cohesividad y masticabilidad a 300 MPa. Crehan et al. (2000) encontraron esta misma tendencia en salchichas tipo frankfurt. Los autores afirman que es probable que a 300 MPa se alcanza el punto máximo de solubilidad de proteínas, así como que a este valor de presión las grandes cadenas de miosina empiecen a solubilizarse.

La elasticidad y masticabilidad presentan un comportamiento similar. El aumento de la presión aplicada en la carne o una disminución del contenido en sal en la formulación del producto tienen el mismo efecto sobre el valor de estos dos parámetros, disminuyéndolo. La cohesividad presentó un efecto interactivo significativo entre los dos factores estudiados ($p < 0,05$), también encontrada en el estudio de Crehan et al. (2000).

La pechuga de pavo baja en sal, elaborada a partir de carne tratada con altas presiones presenta características de textura medidas instrumentalmente, que pueden ser consideradas más agradables como un producto más tierno, menos elástico, y de mejor consistencia para deglutir.

Atributos sensoriales

Los resultados instrumentales permiten establecer una idea de las características sensoriales del producto, pero es necesario realizar un análisis sensorial para establecer los atributos sensoriales de la pechuga de pavo.

Mediante un panel de cata se llevó a cabo un análisis sensorial de los productos. Los datos obtenidos en este análisis se observa en la tabla 11.

Tabla 11: Resultados del análisis sensorial de la pechuga de pavo cocida

Características Sensoriales	Presión (MPa)			Contenido en sal (%)			Nivel de significancia	
	0	200	300	1,0 %	1,5 %	2,3 %	Presión	%Sal
Color	2,92 ^a	2,56 ^b	1,85 ^c	2,18 ^a	2,83 ^a	3,31 ^b	***	***
Olor	3,00	3,02	2,59	2,74	3,07	3,15	NS	NS
Dureza	2,55	2,54	2,12	2,44	2,34	2,46	NS	NS
Jugosidad	2,36	2,59	2,61	2,27 ^a	2,83 ^b	2,92 ^b	NS	**
Desmenuzabilidad	3,04	2,78	3,29	2,96	3,17	3,07	NS	NS
Fibrosidad	2,57	2,46	2,85	2,62	2,68	2,46	NS	NS
Masticabilidad	2,58	2,58	2,61	2,63	2,58	2,38	NS	NS
Sabor	2,98	2,76	2,63	2,54 ^a	3,15 ^b	3,38 ^b	NS	***
Sabor salado	2,58	2,24	2,22	2,05 ^a	2,63 ^b	3,54 ^c	NS	***

^aValores Medios \pm Desviación estándar

Nivel de significancia: (*) $p < 0,05$; (**) $p < 0,01$; (***) $p < 0,001$; (NS) No significativo

Diferentes letras (a, b, c) en la misma fila indican diferencias significativas para el mismo factor

La variación de la presión mostró diferencias significativas para la intensidad de color. A medida que la presión aplicada sobre la materia prima aumentó, el producto presentó una intensidad de color menor. Este hecho confirma a lo hallado por la medición de color por métodos instrumentales. La intensidad de color también presenta diferencias significativas respecto al contenido en sal. Al disminuir el porcentaje de sal en el producto, la intensidad de color de éste disminuye. Por tanto limitará el porcentaje de reducción de sal y condicionará la presión aplicada a la materia prima, ya que para los consumidores, uno de los atributos más importantes de un producto alimenticio es el color (Hogan et al., 2005). Una posible solución a este problema es el uso de colorantes, tal como comenta Desmond (2006).

Los atributos *jugosidad*, *sabor* y *sabor salado* presentaron diferencias significativas para el factor *contenido en sal*. Al aumentar el porcentaje de sal, los valores promedio de las puntuaciones de los tres atributos mencionados aumentaron, lo cual lleva a pensar que el contenido en sal en pechugas de pavo cocidas sólo se podría reducir hasta 1,5%, ya que cuando el contenido es menor de este porcentaje, la diferencia es estadísticamente apreciable.

Crehan et al. (2000) obtuvieron un resultado similar en salchichas tipo frankfurt sometidas a alta presión y formuladas con bajos porcentajes de sal. La reducción de sal afectó significativamente el sabor de las salchichas así como la percepción del sabor salado. Es posible considerar el uso de potenciadores del sabor o agentes enmascadores del sabor para alcanzar una reducción mayor del contenido de sal (Desmond, 2006).

La jugosidad aumenta en los productos cárnicos ya que la sal activa las proteínas musculares para incrementar su capacidad de hidratación y de retención de agua (Kelly et al., 2004; Desmond, 2006), lo que hace que se perciba como un producto más jugoso.

Análisis de Componentes Principales (PCA) para los diferentes parámetros evaluados

Análogamente al análisis realizado sobre los parámetros de la carne de pavo, se muestra a continuación los resultados y discusión del análisis de componentes principales de los diferentes parámetros determinados para la pechuga de pavo:

Análisis de Componentes Principales de los Parámetros Físico-químicos, Instrumentales y Sensoriales

En la tabla 12 se muestran los pesos, autovalores y varianza de los siete primeros componentes principales del análisis de los parámetros físico-químicos, instrumentales y sensoriales.

Tabla 12: Peso (Loadings) de los parámetros físico-químicos, instrumentales y atributos sensoriales de la pechuga de pavo cocida en los siete primeros Componentes Principales (PC)

		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
Variables Físicoquímicas	pH	0,097	-0,366	0,188	-0,305	-0,134	-0,107	-0,104
	Aw	0,237	-0,193	-0,163	-0,027	0,000	0,198	0,216
	% Humedad	0,080	-0,186	0,394	-0,199	0,182	0,071	-0,047
	%Proteína	0,151	-0,358	-0,210	0,135	-0,148	0,147	-0,169
	Frac. SAL [SAB] eq. Ppm	0,137	0,197	0,176	0,044	0,481	0,186	-0,043
Frac. UREA [SAB] eq. Ppm	0,056	0,205	0,107	-0,177	-0,221	-0,408	0,401	
Variables Instrumentales	L*	0,311	-0,088	0,113	-0,105	-0,019	-0,027	0,056
	a*	0,225	-0,138	-0,066	0,221	-0,234	0,022	-0,240
	b*	0,082	-0,126	-0,335	0,295	-0,146	0,231	0,207
	Fuerza Max	-0,229	-0,274	0,206	-0,121	0,063	0,131	0,152
	Área	-0,227	-0,385	0,039	-0,027	-0,053	0,126	0,033
	Pendiente	-0,183	-0,318	0,139	-0,058	0,191	0,292	0,221
	Dureza	-0,319	-0,032	-0,161	-0,032	0,048	-0,038	0,010
	Masticabilidad	-0,328	-0,019	-0,077	-0,061	0,066	-0,077	-0,076
	Cohesividad	-0,300	-0,066	0,025	-0,136	-0,026	-0,206	-0,184
	Adhesividad	0,014	-0,146	0,057	-0,188	-0,451	-0,213	0,050
Elasticidad	-0,323	0,013	-0,145	0,067	-0,051	-0,043	0,033	
Propiedades Sensoriales	Color	-0,193	0,102	0,075	0,212	-0,106	0,060	0,114
	Olor	-0,090	0,059	0,169	0,231	-0,267	0,139	0,342
	Dureza	-0,051	0,159	-0,191	-0,368	-0,135	0,301	-0,045
	Jugosidad	-0,050	0,014	0,328	0,148	-0,239	0,036	-0,278
	Desmenuzabilidad	0,019	-0,007	0,237	0,263	0,089	-0,062	0,236
	Fibrosidad	0,050	0,207	0,045	-0,287	-0,130	0,279	0,325
	Masticabilidad	0,024	0,187	-0,150	-0,382	-0,128	0,335	-0,110
	Sabor	-0,128	0,094	0,305	0,153	-0,262	0,275	0,036
	Sabor salado	-0,122	0,247	0,226	0,072	-0,196	0,252	-0,372
Eigenvalue	8,0524	2,8110	2,6713	2,3009	1,7703	1,5855	1,1297	
%varianza explicada	0,298	0,104	0,099	0,085	0,066	0,059	0,042	
Varianza Acumulada	0,298	0,402	0,501	0,587	0,652	0,711	0,753	

En PC1 (29,8% de la varianza) los parámetros instrumentales tienen los mayores *pesos*. Los parámetros instrumentales son los más sensibles para detectar cambios debidos a la aplicación de altas presiones debido a que la presión, aunque no es tan claro como en la carne de pavo tratada, la presión está correlacionada con el PC1, como se observa en la figura 4 (arriba).

El contenido de sal no presenta una correlación tan clara con los componentes principales como en el caso de la presión (figura 4, abajo). Se observa que los productos control (2,3% de sal) son diferentes de los formulados bajos en sal, analizando sus propiedades físico-químicas, instrumentales y sensoriales en conjunto, siendo las pechugas de pavo cocidas con un contenido de 1,5%, las más cercanas al grupo control.

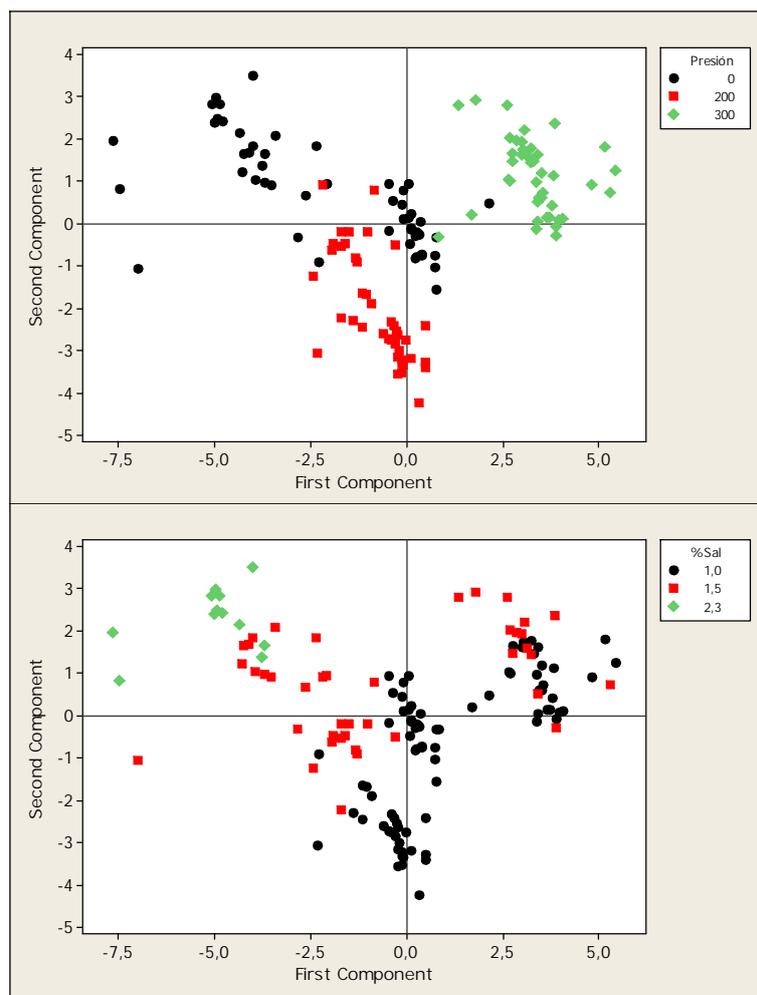


Figura 4: Puntajes del primer y segundo componente de los parámetros físico-químicos, instrumentales y sensoriales de la pechuga de pavo, agrupados según presión (arriba), contenido de sal (abajo)

El gráfico de puntajes permite inferir que los productos elaborados con carne tratada a 300 MPa, son diferentes de aquellos elaborados con carne control o carne tratada a 200 MPa. No se presenta una diferencia clara entre los productos elaborados con la carne sin tratar de aquellos elaborados con carne tratada a 200 MPa. Se obtienen pechugas de pavo bajas en sal de diferentes características, cuando éstas son analizadas en conjunto, dependiendo del valor de la presión aplicada sobre la materia prima utilizada para la elaboración. Si se utiliza como materia prima carne de pavo tratada a 200 MPa, se obtiene un producto similar al control en lo que refiere a las propiedades instrumentales, ya que los dos subgrupos se encuentran en la misma posición respecto del primer componente.

Los parámetros sensoriales no tienen *pesos* importantes en este análisis. Es decir que estadísticamente no presentan una varianza importante en estos parámetros, excepto el sabor y sabor salado en PC2

(10,4%), si bien esto limita la reducción de sal de la pechuga de pavo, permite inferir que el resto de atributos sensoriales (intensidad de color, intensidad de sabor y atributos de textura) son similares entre los diferentes tratamientos, aunque sería necesario un análisis sensorial descriptivo mediante un panel de catadores entrenado.

Análisis de Componentes Principales de los Parámetros Instrumentales y Sensoriales

Se realizó un segundo análisis de componentes principales teniendo en cuenta los parámetros instrumentales y los atributos sensoriales de la pechuga de pavo. Se muestra la matriz de *loadings* (tabla 13) de los primeros seis componentes principales, los cuales explican aproximadamente el 75% de la varianza.

Tabla 13: Componentes principales (Loadings) de los parámetros instrumentales y atributos sensoriales de la pechuga de pavo

		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Variables Instrumentales	L*	0,323	-0,064	-0,049	0,189	-0,071	-0,010
	a*	0,243	-0,168	-0,079	-0,040	0,297	-0,251
	b*	0,084	-0,059	-0,219	-0,163	0,725	0,115
	Fuerza Max	-0,244	-0,209	-0,138	0,411	-0,039	0,159
	Pendiente	-0,249	-0,200	-0,250	0,326	0,152	-0,036
	Área	-0,206	-0,204	-0,223	0,425	0,068	0,284
	Dureza	-0,344	0,135	-0,083	-0,130	0,026	-0,017
	Cohesividad	-0,321	0,060	-0,031	0,013	-0,229	-0,284
	Adhesividad	0,019	-0,032	-0,034	0,347	0,110	-0,714
	Elasticidad	-0,340	0,068	-0,024	-0,180	0,135	-0,050
	Masticabilidad	-0,351	0,110	-0,045	-0,094	-0,091	-0,067
	Dureza II	-0,338	0,145	-0,092	-0,161	0,072	0,021
Propiedades Sensoriales	Color	-0,201	-0,144	0,178	-0,176	0,212	0,042
	Olor	-0,095	-0,252	0,275	-0,050	0,259	0,034
	Dureza	-0,055	0,416	0,158	0,265	0,198	0,044
	Jugosidad	-0,050	-0,312	0,297	0,058	-0,068	-0,204
	Desmenuzabilidad	0,026	-0,346	0,048	-0,056	-0,209	0,309
	Fibrosidad	0,054	0,226	0,293	0,319	0,038	0,265
	Masticabilidad	0,023	0,430	0,218	0,240	0,180	0,065
	Sabor	-0,136	-0,253	0,432	0,074	0,146	-0,006
	Sabor salado	-0,118	-0,068	0,499	-0,015	0,015	-0,047
	Eigenvalue	7,085	2,472	2,104	1,676	1,272	1,106
Varianza Explicada	0,337	0,118	0,100	0,080	0,061	0,053	
Varianza Acumulada	0,337	0,455	0,555	0,635	0,696	0,749	

Los parámetros instrumentales, tanto de color como de textura, sea TPA, sea Warner–Bratzler, presentan los mayores pesos en el primer componente principal (PC1), el cual explica el 33,7% de la varianza. Los únicos parámetros instrumentales con bajo *peso* fueron b* y la adhesividad.

Los parámetros sensoriales tienen un peso importante en el segundo componente principal (PC2), explicando el 11,8% de la varianza. Que los parámetros instrumentales y los atributos sensoriales se encuentren en diferentes componentes principales, implica que no hay correlaciones entre éstas debido al fundamento del PCA, ya que cada componente principal es ortogonal al resto, siendo complementarias. Ruiz de Huidobro et al. (2005), comentan que usualmente las correlaciones entre los parámetros sensoriales e instrumentales son muy bajas, con énfasis en los parámetros de textura.

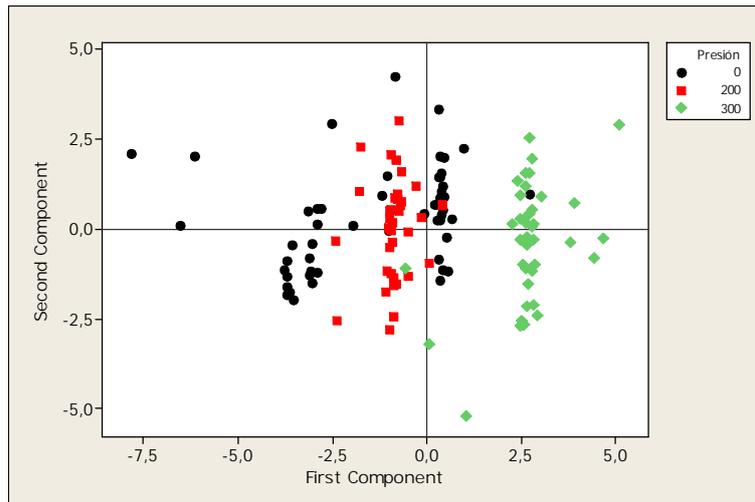


Figura 5: Puntajes del primer y segundo componente de los parámetros instrumentales y sensoriales de la pechuga de pavo, agrupados según presión

Si sólo se consideran los parámetros instrumentales y los atributos sensoriales es posible diferenciar las muestras que fueron elaboradas con carne tratada a 300 MPa, mientras que la diferencia entre las muestras control y las muestras de pechuga cocida elaborada con carne de pavo tratada a 200 MPa es baja, tal como se observa en la figura 5.

CONCLUSIONES

1. Al someter la carne de pavo a un tratamiento de altas presiones se modifican varias propiedades físico-químicas como pH, A_w , humedad, nitrógeno desnaturalizado, y color y textura medidos instrumentalmente.
2. Según los resultados obtenidos en el estudio del producto cocido elaborado con la carne de pavo:
 - 2.1. La aplicación de altas presiones afecta a los siguientes parámetros: *físico – químicos* como pH, solubilidad de las proteínas; *intensidad de color y textura* medida instrumentalmente. No obstante, en lo que respecta a las propiedades sensoriales sólo se aprecia una modificación del color.
 - 2.2. La reducción del porcentaje de sal afecta a los siguientes parámetros: *físico – químicos* como A_w , *instrumentales* como color, cohesividad, elasticidad y masticabilidad, y *sensoriales* como intensidad de color, jugosidad, sabor global y sabor salado. En todos ellos, la reducción de la cantidad de sal conlleva una disminución de sus valores.
3. No hay correlación entre los parámetros instrumentales y los atributos sensoriales por lo que ambos análisis aportan información complementaria en el estudio realizado.
4. La combinación de altas presiones y reducción de sal seleccionada es de 200 MPa y 1,5% de sal, ya que el producto obtenido con estas condiciones es el que más se asemeja al producto control (no tratado con altas presiones, 2,3% de sal).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ☞ **Adams, S. O., Maller, O., & Cardello, A. V.** (1995). Consumer acceptance of foods lower in sodium. *Journal of the American Dietetic Association* 95, 447-453.
- ☞ **Angsupanich, K., & Ledward, D. A.** (1998). High pressure treatment effects on cod (*Gadus morhua*) muscle. *Food Chemistry* 63 , 39-50.
- ☞ **Balasubramaniam, V. M., Villacís, M. F., & Rastogi, N. K.** (2008). Effect of high pressure on moisture and NaCl diffusion into turkey breast. *LWT* 41 , 836-844.
- ☞ **Barbosa-Cánovas, G. V., Welti-Chanes, J., López-malo, A., Palou, E., Bermudez, & Guerrero-Beltrán, J. A.** (2005). Fundamentals and Applications of High Pressure Processing to Foods. En Barbosa-Cánovas, G. V., M. S. Tapia, & M. P. Cano (Edits.), *Novel Food Processing Technologies [Libro electrónico]* (págs. 157-181). New York NY, USA: Marcel Dekker.
- ☞ **Barbut, S.** (2000). Other Poultry Preservation Techniques. En G. C. Mead (Ed.), *Poultry Meat Processing and Quality* (págs. 207-208). Boca Ratón FL USA: CRC Press LLC.
- ☞ **Barbut, S.** (2002). *Poultry Products Processing: An Industrial Guide*. Boca Ratón FL USA: CRC Press LLC.
- ☞ **Bourne, M. C.** (2002). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. Elsevier Science and Technology Books.
- ☞ **Cheftel, J. C., & Culioli, J.** (1997). Effects of high pressure on meat: A review. *Meat Science* 46 , 211-236.
- ☞ **Crehan, C. M., Troy, D. J., & Buckley, D. J.** (2000). Effects of salt level and high hydrostatic pressure processing on frankfurters formulated with 1.5 and 2.5% salt. *Meat Science* 55 , 123-130.
- ☞ **Desmond, E.** (2006). Reducing salt: A challenge for the meat industry. *Meat Science* 74 , 188-196.
- ☞ **Fellows, P.** (2000). Processing Using Electric Fields, High Hydrostatic Pressure, Light or Ultrasound. En P. Fellows, *Food Processing Technology: Principles and Practice [Libro Electrónico]* (págs. 216-222). Boca Ratón FL USA: CRC Press LLC.
- ☞ **Fennema, O. R.** (1996). *Food Chemistry [Libro electrónico]*. New York NY USA: Marcel Dekker, Inc.
- ☞ **Guàrdia, M. D., Gelabert, J., Gou, P., & Arnau, J.** (2006). Consumer attitude towards sodium reduction in meat products and acceptability of fermented sausages with reduces sodium content. *Meat Science* 73 , 484-490.
- ☞ **Hogan, E., Kelly, A. L., & Sun, D.-W.** (2005). High Pressure Processing of Foods: An Overview. En D.-W. Sun (Ed.), *Emerging Technologies for Food Science* (págs. 3-32). San Diego CA USA: Elsevier, Ltd.
- ☞ **Hugas, M., Garriga, M., & Monfort, J. M.** (2002). New mild technologies in meat processing: high pressure as a model technology. *Meat Science* 62 , 359-371.

- ☞ **Iwasaki, T., Noshiroya, L., Saitoh, N., Okano, K., & Yamamoto, K.** (2006). Studies of the effect of hydrostatic pressure pretreatment on thermal gelation of chicken myofibrills and pork meat patties. *Food Chemistry* 95 , 474-483.
- ☞ **Jiménez-Colmenero, F., Carballo, J., Cofrades, S., & Fernández-Martín, F.** (2001). Pressure-assisted gelation of chemically modified poultry meat batters. *Food Chemistry* 75 , 203-209.
- ☞ **Jiménez-Colmenero, F., Fernández, P., Carballo, J., & Fernández, F.** (1998). High-pressure-cooked low-fat pork and chicken batters as affected salt levvels and cooking temperature. *Journal of Food Science* 63 , 656-659.
- ☞ **Kauffman, R. G.** (2001). **Meat Composition.** En **Y. H. Hui, W.-K. Nip, R. W. Rogers, & O. A. Young** (Edits.), *Meat Science and Applications [Libro electrónico]*. New York NY USA: Marcel Dekker, Inc.
- ☞ **Kelly, A. L., Cruz-Romero, M. C., & Kerry, J. P.** (2004). Fatty acids, volatile compounds and colour changes in high-pressure-treated oysters (*Crassostrea gigas*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 9 , 54-61.
- ☞ **Kerry, J., Kerry, J., & Ledward, D.** (Edits.). (2002). *Meat Processing: Improving Quality [Libro electrónico]*. Boca Ratón FL USA: CRC Press LLC.
- ☞ **Ko, W.-C., Jao, C.-L., Hwang, J.-S., & Hsu, K.-C.** (2005). Effect of High Pressure Treatment on Processing Quality of Tilapia Fillets. *Journal of Food Engineering* , 1-19.
- ☞ **Lawrie, R. A., & Ledware, D. A.** (2006). The Eating Quality of Meat. En R. A. Lawrie, & D. A. Ledware, *Lawrie's Meat Science [Libro Electrónico]* (págs. 279-341). Boca Ratón FL USA: CRC Press LLC.
- ☞ **Le Bail, A., Chevalier, D., & Ghoul, M.** (2001). Effects of high pressure treatment (100-200 MPa) at low temperature on turbot (*Scophthalmus maximus*) muscle. *Food Research International* 34 , 425-429.
- ☞ **Ledward, D. A., Angsupanich, K., & Edde, M.** (1999). Effects of high pressure on the myofibrillar proteins of cod and turkey muscle. *Journal of Agriculture Food Chemistry* 47 , 92-99.
- ☞ **Messens, W., Van Camp, J., & Huyghebaert, A.** (1997). The use of high pressure to modify the functionality of food proteins. *Trends in Food Science and Technology* 8 , 107-112.
- ☞ **Mor-Mur, M., & Yuste, J.** (2003). High pressure processing applied to cooked sausage manufacture: physical properties and sensory analysis. *Meat Science* 65 , 1187-1191.
- ☞ **Moss, B. W.** (2002). The Chemistry of Food Colour. En D. B. MacDougall (Ed.), *Colour in Food: Improving quality [Libro electrónico]* (págs. 145-178). Boca Ratón FL, USA: CRC Press LLC.
- ☞ **Ordoñez Aguirre, M.** (2001). *Influencia de la materia prima sobre la textura del jamón curado [Tesis Doctoral]*. Burgos: Universidad de Burgos - Departamento de Biotecnología y Ciencia de los Alimentos.
- ☞ **Pandurangi, S., & Balasubramaniam, V. M.** (2005). High-Pressure Processing of Salads and Ready Meals. En D.-W. Sun (Ed.), *Emerging Technologies for Food Science* (págs. 33-46). San Diego CA USA: Elsevier, Ltd.
- ☞ **Panreac Química S. A.** (1999). *Métodos Analíticos en Alimentaria: Carne y productos cárnicos [Libro electrónico]*. Panreac Química S. A.

- ☞ **Patterson, M. F., Ledward, D. A., & Rogers, N.** (2006). High Pressure Processing. En J. G. Brennan (Ed.), *Food Processing Handbook [Libro electrónico]*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
- ☞ **Piertrzak, D., Fonberg-Broczek, M., Mucka, A., & Windyga, B.** (2007). Effects of high pressure treatment on the quality of cooked pork ham prepared with different levels of curing ingredients. *High Pressure Research* 27 , 27-31.
- ☞ **Rubio, B., Martínez, B., García-Cachán, M. D., Rovira, J., & Jaime, I.** (2007). Effect of high pressure preservation on the quality of dry cured beef "Cecina de León". *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 8 , 102-110.
- ☞ **Ruiz de Huidobro, F., Miguel, E., Blázquez, B., & Onega, E.** (2005). A comparison between two methods (Warner-Bratzler and Texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat. *Meat Science* 69 , 527-536.
- ☞ **Ruusunen, M., & Puolanne, E.** (2005). Reducing sodium intake from meat products. *Meat Science* 70 , 531-541.
- ☞ **Ruusunen, M., Vainionpää, J., Lyly, M., Lähtenmäki, L., Niemistö, M., Ahvenainen, R.** (2005). Reducing sodium content in meat products: The effect of the formulation in low-sodium patties. *Meat Science* 69 , 53-60.
- ☞ **Válková, V., Saláková, A., Buchtová, H., & Tremlová, B.** (2007). Chemical, Instrumental and Sensory characteristics of cooked pork ham. *Meat Science* 77 , 608-615.
- ☞ **Young, O. A., & West, J.** (2001). Meat Color. En Y. H. Hui, W.-K. Nip, R. W. Rogers, & O. A. Young (Edits.), *Meat Science and Applications [Libro electrónico]*. New York NY USA: Marcel Dekker, Inc.