



---

## PRETRATAMIENTO CON CAMPO MAGNÉTICO EN LA FERMENTACIÓN DE EMULSIONES DE CARNE DE CERDO

### PRE-TREATMENT WITH MAGNETIC FIELD ON THE FERMENTATION OF EMULSIONS OF PORK MEAT

**\*Víctor-Manuel Gelvez-Ordoñez<sup>1</sup>; Ana-Milena Rolón-Moreno<sup>2</sup>; Luz-Alba Caballero-Pérez<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Ph.D. Ciencia y Tecnología de Alimentos; MSc. Proyectos de innovación tecnológica; Ing. De Alimentos; Docente Universidad de Pamplona; Cúcuta, Norte de Santander; Colombia; \*Correo electrónico: [vmgelvez@unipamplona.edu.co](mailto:vmgelvez@unipamplona.edu.co); 0000-0001-5804-9585

<sup>2</sup>Ingeniera de Alimentos; Universidad de Pamplona; Cúcuta, Norte de Santander; Colombia; Correo electrónico: [ana.rolon@unipamplona.edu.co](mailto:ana.rolon@unipamplona.edu.co); 0000-0002-5290-6360

<sup>3</sup>Candidata a doctor, MsC Ciencia y Tecnología de Alimentos, Programa Ingeniería de Alimentos sede Villa del rosario. Universidad de Pamplona, Villa del rosario, Norte de Santander, Colombia. Correo electrónico: [luzcaballero@unipamplona.edu.co](mailto:luzcaballero@unipamplona.edu.co). ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3591-5828>

---

**Recibido: 24 de marzo de 2023; Aceptado: 27 de abril de 2023**

#### RESUMEN

---

La demanda de alimentos inocuos, mínimamente procesados y saludables por parte de los consumidores ha generado la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías para cubrir dichas necesidades, estas deben ser sostenibles con el medio ambiente, por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del pretratamiento con Campo Magnético Estático-CME en la fermentación de emulsiones de carne de cerdo. Se preparó una emulsión %P/P con 15,03% proteína, 24,64% grasa, 57,64% agua, 1,90% sal, 0,02% nitrito, 0,1% cultivo y 0,67% lactosa. Se sometió a tratamiento con CME de 4,5mT durante 0, 3, 5 y 10 minutos. Posteriormente las muestras



fueron almacenadas durante 20 días a temperatura ambiente. Se evaluó el pH, color, estabilidad y humedad durante los días 1, 4, 8, 12, 16 y 20 y la microbiota se analizó el día 1 y 20. Se encontró que la emulsión es estable y su humedad no varía. El pH no varía con el pretratamiento, pero sí disminuye con el tiempo de almacenamiento. La actividad microbiana de *Lactobacillus bulgaricus* se ve afectada por el pretratamiento, pero exhibe una recuperación a los 4 días de almacenamiento. La luminosidad disminuye con el pretratamiento este efecto se mantiene hasta el día 4. En el parámetro  $a^*$  del color el pretratamiento causa aumento en la escala, este cambio resulta proporcional al tiempo de tratamiento. El parámetro  $b^*$  presenta disminución hasta el día 8 y posteriormente exhibe el comportamiento contrario. Estos cambios están relacionados con el tiempo del tratamiento. Se presentan reducciones de los coliformes totales a 200UFC/g y coliformes fecales a <3UFC/g en las muestras, por efecto de las condiciones de almacenamiento

\*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia \* Víctor Manuel Gélvez-Ordoñez<sup>1</sup>E-mail: [vmgelvez@unipamplona.edu.co](mailto:vmgelvez@unipamplona.edu.co):

**Palabras clave:** Carne, microbiota, maduración, proteína, tecnología. Estas palabras fueron tomadas de <http://decs.bvs.br/cgi-bin/wxis1660.exe/decserver/>

## ABSTRACT

The demand for safe, minimally processed and healthy foods by consumers has generated the need to develop new technologies to meet these needs, these must be sustainable with the environment, therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of pretreatment with Static Magnetic Field-CME in the fermentation of emulsions of pork. A %W/W

emulsion was prepared with 15.03% protein, 24.64% fat, 57.64% water, 1.90% salt, 0.02% nitrite, 0.1% culture, and 0.67% lactose. . It was subjected to treatment with CME of 4.5mT for 0, 3, 5 and 10 minutes. Subsequently, the samples were stored for 20 days at room temperature. The pH, color, stability and humidity were evaluated during days 1, 4, 8, 12, 16 and 20 and the microbiota was analyzed on days 1 and 20. It was found that the emulsion is stable and its humidity does not vary. The pH does not vary with the pretreatment, but it does decrease with storage time. The microbial activity of *Lactobacillus bulgaricus* is affected by pretreatment, but shows a recovery after 4 days of storage. The luminosity decreases with the pretreatment, this effect is maintained until day 4. In the parameter  $a^*$  of the color, the pretreatment causes an increase in the scale, this change is proportional to the treatment time. The parameter  $b^*$  presents a decrease until day 8 and later exhibits the opposite behavior. These changes are related to the time of treatment. There are reductions in total coliforms at 200UFC/g and fecal coliforms at <3UFC/g in the samples, due to the effect of storage conditions.

**Key Word:** Meat, Microbiota, Maturation, Protein, Technology. These words were selected from <http://decs.bvs.br/cgi-bin/wxis1660.exe/decserver/>

## INTRODUCCIÓN

La carne y productos cárnicos son una fuente primaria de proteína y son elementos clave en el comercio y tráfico agrícola de muchos países. “Se proyecta que para la

década de 2019-2028 América Latina y el Caribe tendrá un crecimiento del 16% en la producción de los productos ganaderos” (OCDE & FAO, 2019). Los cerdos son

animales domesticables que crecen y maduran con rapidez, su carne además de ser rica en proteínas, potasio, hierro y selenio, es fuente primaria de grasas instauradas (Nieto & Lorenzo, 2021). El acelerado crecimiento comercial de los productos de carne de cerdo requiere mayor atención en la implementación de nuevas metodologías que potencien y mejoren la carne y productos cárnicos al igual que se deben minimizar el potencial riesgo de transmisión de enfermedades en la cadena de producción cárnica (Franco Anaya *et al.* 2013). Nuevas tecnologías emergentes no térmicas han sido la respuesta innovadora hacia la tendencia de consumo de productos mínimamente procesados, con mejores características organolépticas y con la menor cantidad de aditivos, conservando siempre la inocuidad de estos (Inguglia *et al.*, 2017).

Las emulsiones son dispersiones termodinámicamente inestables de dos líquidos inmiscibles, normalmente de naturaleza apolar y polar, en la que uno de ellos forma gotas de tamaño pequeño (de 0,1 a 100 micras) que se denomina fase dispersa o interna, y el otro, constituye el medio de dispersión, que es la fase continua o externa. En este orden de ideas las

emulsiones cárnicas son de naturaleza O/W; es decir, de aceite en agua ya que pequeñas gotas de un líquido de naturaleza oleosa se encuentran suspendidas en una fase continua dominada por un medio normalmente acuoso (Nieto y Lorenzo, 2021). En productos cárnicos los métodos de cocción afectan principalmente atributos relevantes como jugosidad, intensidad de sabor y terneza (Ángel-Rendón *et al.*, 2020). Según estudios realizados, tecnologías como el ultrasonido, altas presiones hidrostáticas, plasma frío y campos magnéticos han demostrado ser más eficientes energéticamente que los tratamientos convencionales, además de producir alimentos seguros y de alta calidad (Thangavelu *et al.*, 2019).

El campo magnético (CM) es reconocido por su potencial uso como método de inactivación microbiana (McAuley *et al.* 2016; Shahbaz *et al.* 2018; Niakousari *et al.*, 2018). El mecanismo específico de inactivación microbiana es la electroporación. La intensidad del tratamiento es considerada el factor influyente en la producción de daños celulares (Morales-de la Peña *et al.*, 2019).

Los CM podrían mejorar la interacción de los aditivos con las proteínas del músculo, su

aplicación tiene el potencial de romper la matriz de la carne y mejora la capacidad de retención de agua de las proteínas miofibrilares afectando principalmente las estructuras secundarias (Guo *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2020). Según Thangavelu *et al.*, (2019) y Pinton *et al.*, (2021) el efecto del CM ha sido evaluado como estrategia para reducir el contenido de sales y fosfato en productos cárnicos, aportando productos nutricionales y sensorialmente más aceptables por el consumidor. No se encontró en la literatura

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Materiales y Reactivos.** Lomo (*Longissimus dorsi*) y tocino de cerdo comprado en una carnicería del mercado local de Cúcuta, mezcla comercial de sal y sal curante (Nitrito 6%) y cultivo iniciador comercial de *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*. Los equipos y reactivos de grado analítico fueron suministrados por la Universidad de Pamplona, Laboratorio de Alimentos.

### Caracterización de la Carne.

**Características Fisicoquímicas.** Se realizó mediante la medición del pH y color de la carne. Para el pH, se tomaron 20g de carne,

actual estudios que relacionen el proceso de fermentación con los tratamientos no térmicos como el campo magnético estático (CME) y los posibles cambios en las variables físicas y químicas del producto de carne de cerdo. Por tal razón el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del pretratamiento con CME (4,5mT) sobre el pH, color, estabilidad de la emulsión, humedad, y calidad microbiológica (coliformes) en la fermentación de emulsiones de carne de cerdo.

se licuaron por separado con una proporción igual de agua destilada. La lectura se tomó con un pH-metro marca TRAS INSTRUMENTS modelo BP-3001 equipado con electrodo fino y sonda de temperatura, debidamente calibrado siguiendo el protocolo de la A.O.A.C, (1990). La medición del color se realizó según la metodología utilizada por Posthuma *et al.*, (2018) que consistió en analizar las muestras mediante la escala de medición CIEL\*a\*b\*, con las siguientes modificaciones: las fotos de las muestras se tomaron en una cámara de simulación luz día, que posteriormente se analizaron mediante el software ColoRotate.

**Propiedades funcionales.** Se realizó mediante la medición de la capacidad de Emulsificación (CE) y la capacidad de retención de agua (CRA). Para la CE, aproximadamente 30g de carne se llevaron a un proceso de homogenización adicionando progresivamente aceite vegetal hasta el cambio de fase en la emulsión. La CE se representó en mL de aceite gastado/g de muestra utilizada, según lo descrito por Ruilova *et al.*, (2017). La CRA se calculó por el método de presión en papel filtro, según la metodología descrita por Romero y García, (2016), los cálculos se realizaron midiendo la diferencia de peso entre el papel filtro húmedo y seco, los resultados se expresan como el porcentaje de agua retenida.

**Preparación de la Emulsión.** Se adecuó la carne retirando las partes indeseables, para la preparación de la emulsión, se realizó la molienda en un molino KRAMER FOOD EQUIPAMENT modelo KRA MAX12 con un disco de diámetro N° 10 para la carne y N° 12 para la grasa, ambos a 190rpm obteniendo una emulsión de pasta gruesa %P/P con 15,03% proteína, 24,64% grasa, 57,64% agua, 1,90% sal, 0,02% nitrito, 0,1% cultivo y 0,67% lactosa. Las muestras fueron

empacadas de  $30g \pm 0,55$  en tripa natural de cerdo.

**Tratamiento.** Se realizó un tratamiento con CME siguiendo la metodología expuesta por Fuentes *et al.*, (2016). Para esto, se utilizó un equipo prototipo de tres bobinas en serie de cobre con capacidad máxima de 4,5mT, se modificó el tiempo de exposición a 3, 5 y 10 minutos.

**Fermentación.** Las muestras fueron llevadas en soportes plásticos a un desecador de vidrio con tapa y gel sílica grado analítico (%H= 2,99) marca BIOT-SILICA1000 sin indicador de pH, la cual fue cambiada cada 5 días para garantizar la efectividad del secado. El proceso de fermentación duró 20 días y se realizó a temperatura entre 19 y 22°C, con una humedad relativa entre 85 y 95%.

**Análisis para las Muestras.** Se realizaron los siguientes análisis tanto para la muestra control (0min), como a las muestras tratadas durante 3, 5 y 10 minutos. Los análisis de pH, color, estabilidad de la emulsión, humedad, se evaluaron durante los días 1, 4, 8, 12, 16 y 20; mientras que la calidad microbiológica (coliformes) se analizó los días 1 y 20 solo a

la muestra control y a la muestra tratada con CME durante 10 minutos.

**Estabilidad de la emulsión (EE).** Se determinó mediante una adaptación del método descrito por Câmara *et al.* (2020). Se tomaron 10g de cada muestra en tubos para centrifuga, que posteriormente fueron llevados en una centrifuga modelo PLC 05 (RCF x g 1046) a 2000rpm durante 15 minutos. Los resultados se expresan en la cantidad de líquido desprendido por la emulsión.

**Contenido de Humedad.** Se determinó por medio de la diferencia de peso por secado en una balanza de humedad marca OHAUS modelo MB45. Las mediciones se realizaron por duplicado a una temperatura máxima de 103°C de acuerdo con los procedimientos de la A.O.A.C (1990).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Caracterización de la Carne.** La carne de cerdo presentó un pH de  $5,72 \pm 0,08$ . Para Utrilla *et al.* (2014) quienes caracterizaron el mismo tipo de carne, el valor obtenido es aceptable para una carne de cerdo “normal”. El pH es directamente proporcional a la CRA (Lesiow *et al.*, 2017; Zhang, *et al.*, 2020). Un

**Análisis Microbiológico.** Se efectuó un conteo en placa de coliformes totales según lo indicado por el Instituto colombiano de normas técnicas y certificación en la NTC 4458. Se utilizaron disoluciones de  $10^{-3}$ , en un medio cromogénico con un tiempo de incubación de 24 horas. Los resultados fueron expresados como UFC/g.

**Análisis Estadístico.** Todos análisis fueron realizados a temperatura ambiente y por triplicado, excepto el contenido de humedad que se realizó por duplicado. Los resultados obtenidos se trataron estadísticamente a través del análisis de varianza (ANOVA) ( $\alpha=0,05$ ) y con el fin de discernir mejor los resultados del ANOVA se utilizó la prueba de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

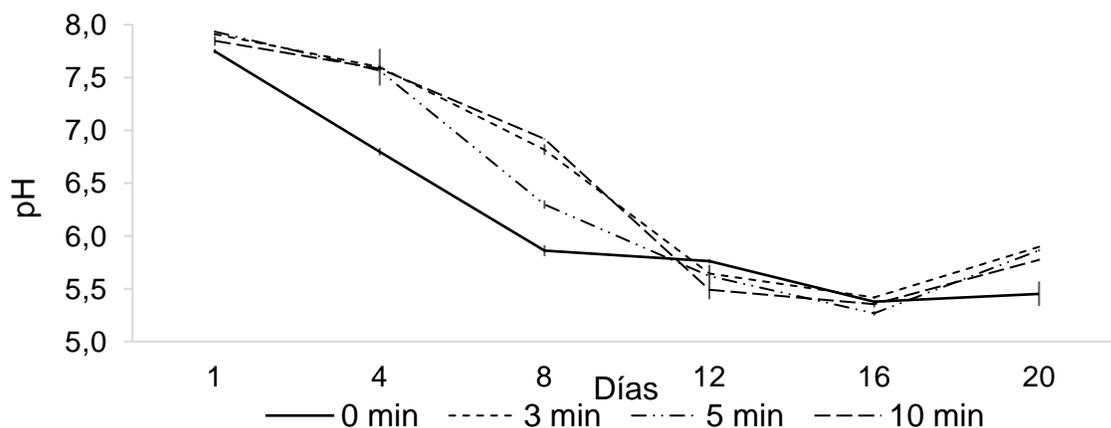
aumento del pH resulta en la repulsión electrostática entre las proteínas miofibrilares, lo que permite un mayor atrapamiento de agua (Zhu *et al.*, 2020), confirmación que sustenta un porcentaje de agua retenida de  $85,714 \pm 0,52$ , del mismo modo, la CE de  $1,2 \pm 0,4$  está relacionada

con el alto contenido de proteínas miofibrilares del corte utilizado, que son el emulgente encargado de mantener unidas ambas fases naturalmente (Kim *et al.*, 2020). Siguiendo la comparación con el estudio realizado por Utrilla *et al.*, (2014), los parámetros de color  $L^* = 68,88 \pm 2,45$  y  $a^* = 4,27 \pm 1,00$ , difieren considerablemente con los obtenidos en este trabajo ( $L^* = 58,80 \pm 0,71$  y  $a^* = 26,51 \pm 1,24$ ). Gonzalez-Rivas *et al.* (2020) afirman que la carne de cerdos sometidos a estrés por calor tiene valores menores para  $a^*$  y mayores para  $L^*$  con respecto a cerdos mantenidos en condiciones termoneutrales, lo cual puede sustentar la diferencia de los datos obtenidos, para un mismo corte de carne de cerdo.

## Proceso De Fermentación.

### Características Físicas

**pH.** La figura 1 presenta el comportamiento del pH a través del tiempo para todas las muestras. No se presentan diferencias significativas entre las muestras tratadas y la muestra control ( $\alpha > 0,05$ ) durante la fermentación. La falta de una tendencia aparente en los cambios de pH por efecto del tratamiento con CME, concuerda con los resultados obtenidos por Bekhit *et al.* (2016) quienes evaluaron los efectos del tratamiento con CMO (10kV, 90Hz, 20 $\mu$ s) en lomos de novillo almacenados durante 21 días.



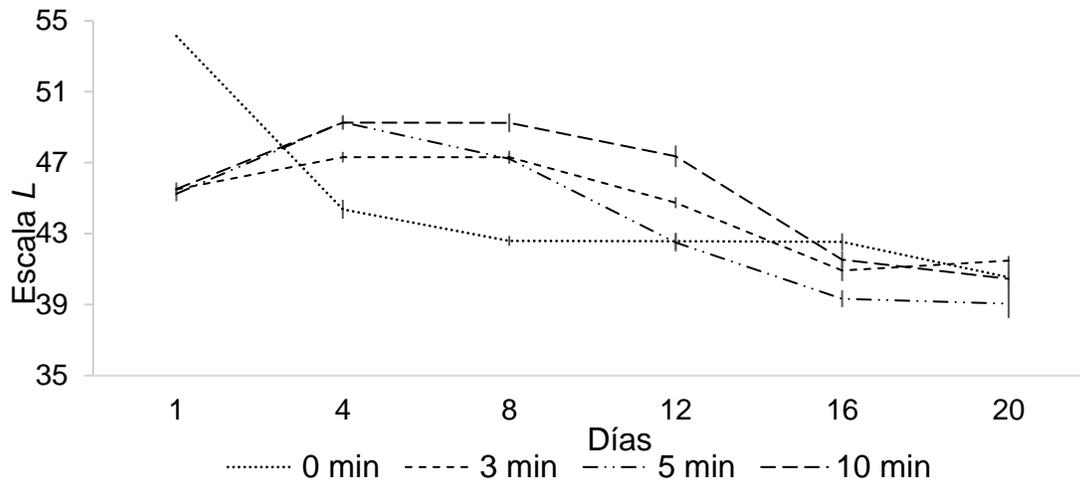
**Figura 1.** Comportamiento del pH en el tiempo de Fermentación

En las muestras sin tratar (0min) se observa un comportamiento de descenso gradual del pH a través de los días 1-4 ( $7,75 \pm 0,02 - 6,80 \pm 0,04$ ) con respecto a las muestras tratadas. El tratamiento con CM afecta los microorganismos presentes en el producto, mediante la electroporación que causa en la membrana celular (Hussain *et al.*, 2020), debido a que la emulsión contiene *Lactobacillus* que fermentan los azúcares produciendo ácido láctico (Ge *et al.*, 2019) el tratamiento afectó el microorganismo, provocando una mayor fermentación para los primeros días, solo en la emulsión sin tratar.

Sin embargo, a través de los días 4-8, las muestras tratadas (3, 5 y 10 minutos) exhiben un comportamiento de descenso igual a las muestras sin tratar (0min), según Toepfl *et al.*, (2014) la electroporación causada puede ser reversible dependiendo de la intensidad del tratamiento, teniendo en cuenta que la densidad de flujo del tratamiento aplicado es débil (4,5mT) se afirma que este, solo causó una ruptura rápida en ciertas áreas, sin afectar permanentemente toda la membrana celular. De esta manera, la disminución del pH en

todas las muestras, a través de los días 4-8 se relaciona con la producción de ácido láctico a partir de la fermentación de azúcares. Cuando los azúcares disponibles en la matriz empiezan a agotarse, se detiene la producción de ácido láctico, lo anterior sustenta la diferencia en la caída del pH a través de los días 8-12 de la muestra control (disminuyendo de  $5,86 \pm 0,05$  a  $5,76 \pm 0,02$ ), con respecto a las muestras tratadas (3, 5 y 10 minutos) en las cuales la producción de ácido láctico empezó a partir del día 4 por los efectos del tratamiento mencionados. El aumento del pH a partir del día 16 para todas las muestras es debido al inicio del proceso de descomposición del músculo con la producción de amoníaco (Romero y García, 2016).

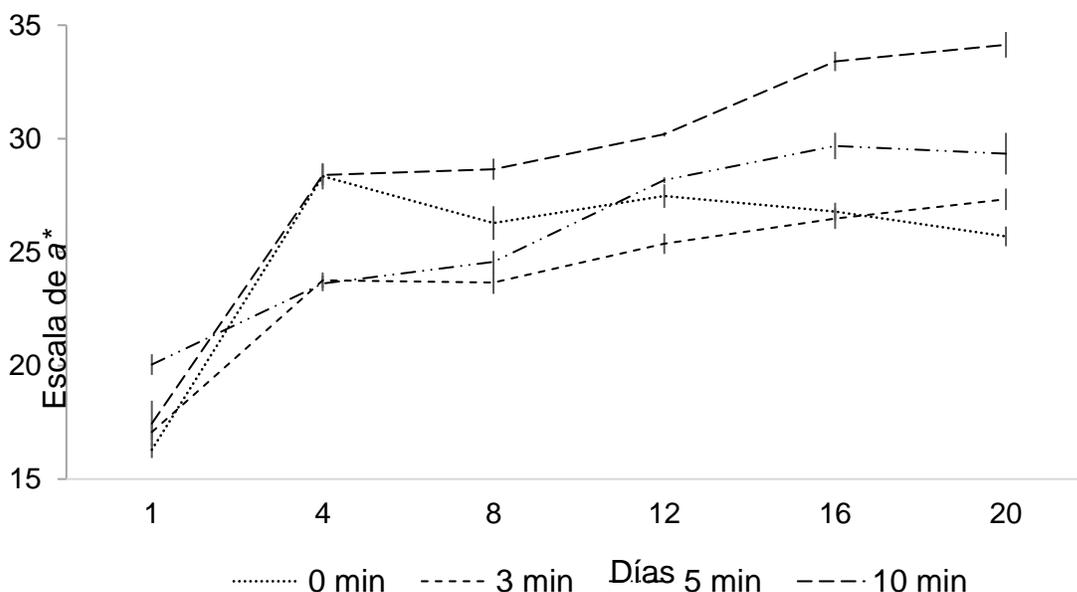
**Color.** Las figuras 2, 3 y 4 presentan los resultados obtenidos en las escalas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  respectivamente, durante el proceso de fermentación. El tratamiento con CM no afecta significativamente ( $\alpha > 0,05$ ) el comportamiento de la luminosidad ( $L^*$ ) de las muestras tratadas con respecto a la muestra control, durante el proceso de fermentación (Figura 2).



**Figura 2.** Comportamiento de  $L^*$  en el tiempo de Fermentación.

Sin embargo, los valores de  $L^*$  para las muestras tratadas, en el día 1, son menores con respecto a la muestra control ( $45,03 \pm 0,56$  y  $54,00 \pm 0,9$ ). Autores como Guo *et al.* (2019); Wang *et al.* (2020) y Yang *et al.* (2020) afirman que el CME de baja intensidad (0,5; 9,5 y 3,8mT, respectivamente) afecta la estructura secundaria de las proteínas miofibrilares de la carne, aumentando la interacción electrostática con la disminución de la hélice  $\alpha$  y el aumento de la lámina  $\beta$  y el giro  $\beta$ , lo que promueve una estructura más compacta reflejada en un aumento de la CRA. Una

estructura más cerrada entre miofilamentos y miofibrillas dificulta la dispersión de la luz, y por consecuencia el material debe parecer más oscuro (Purslow *et al.*, 2020). Lo anterior sustenta una disminución de los valores de  $L^*$  en el día 1, solo para las muestras tratadas con CME. Los valores de  $L^*$  de las muestras tratadas (3, 5 y 10 minutos) aumentan a través los días 1-4, hasta estabilizarse en valores similares con la muestra control ( $46,38 \pm 0,53$ ), lo cual indica que el efecto causado en la estructura secundaria de la proteína por el tratamiento no fue permanente, a través del tiempo.



**Figura 3.** Comportamiento de  $a^*$  en el tiempo de Fermentación

Por otra parte, el descenso de la escala  $L^*$  para todas las muestras a partir del día 4 se relaciona con la disminución del pH y de la CRA, que conlleva a una disminución del agua en las muestras durante el proceso de maduración (Ge *et al.*, 2019; González-Rivas *et al.*, 2020). Lo anterior difiere con Swatland, (2012) quien afirma que una disminución del pH en el producto cárnico se relaciona con el aumento del índice de reflexión aumentando la escala de  $L^*$ .

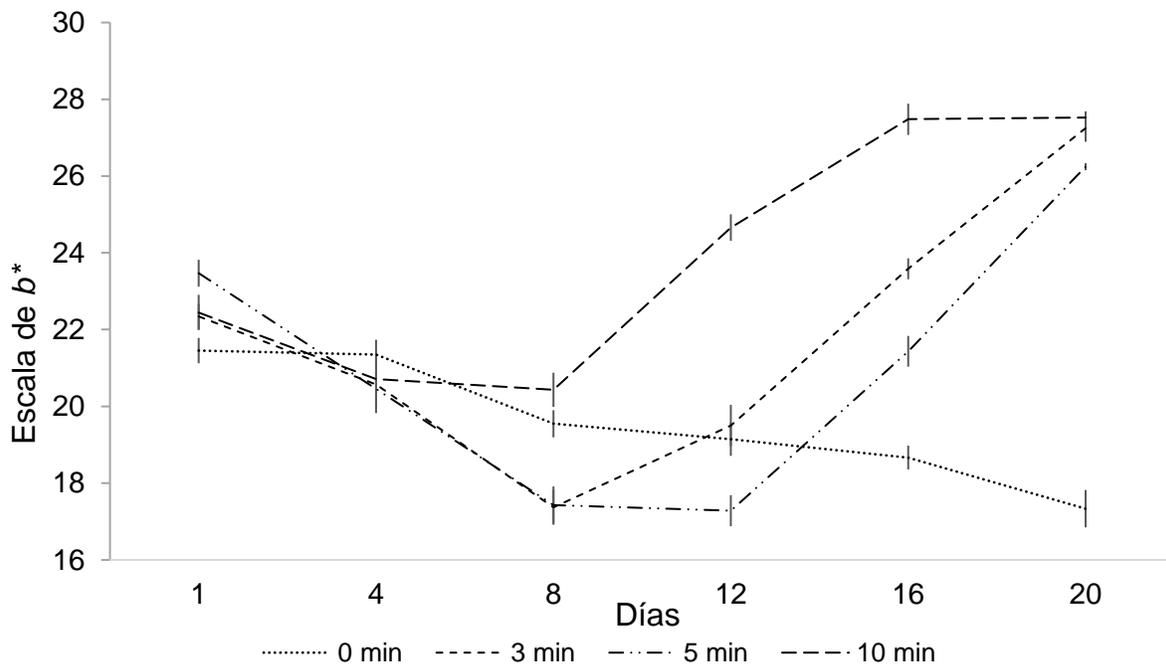
El enrojecimiento ( $a^*$ ) de las muestras tratadas con respecto al control no fue significativamente diferente ( $\alpha > 0,05$ ) durante el proceso de fermentación (Figura 3). La tendencia de aumento en la escala  $a^*$  para

todas las muestras durante los días 1-4, se encuentra relacionada principalmente con los cambios bioquímicos del proceso de fermentación que con el tratamiento con CME. En la fermentación, el desarrollo del color se realiza a través de reacciones químicas entre el nitrito y la mioglobina (Mb) de la carne. Del mismo modo, la presencia de *Streptococcus thermophilus* en la emulsión ayuda a estabilizar el color a través del tiempo debido a su actividad de nitrato reductasa, que da como resultado la formación de nitrosomioglobina y limita la oxidación de lípidos (Sun *et al.*, 2019). La formación del pigmento por reacciones con el nitrito en productos cárnicos ocurre desde

el inicio y alcanza su máximo en el tercer o cuarto día, lo cual explica un descenso de la escala  $a^*$  a partir del día 4, en la muestra sin tratar (0min). Las muestras tratadas (3, 5 y 10 minutos) siguen aumentando en la escala  $a^*$  en los siguientes días de la fermentación (del 4 al 20), según Xia *et al.*, (2020) los CME (3-12mT) promueven la estructura despliegue de Mb proporcionando más oportunidades para el ataque de oxidación. Dicho efecto facilita la oxidación de Mb a metamioglobina (MMb) que reacciona con el nitrito residual (5-20%) produciendo

nitrosilmetamioglobina que posteriormente se reduce a NOMb. Los valores de  $a^*$  para el día 20 son mayores con el aumento del tiempo de exposición, teniendo en cuenta lo anterior, tanto el tratamiento como el tiempo de exposición al CME afecta la escala de  $a^*$  posterior al punto máximo de las nitrosilación directa con la Mb.

La muestra tratada con CME durante 10 minutos presentó diferencias significativas ( $\alpha = 0,41$ ) en la escala  $b^*$  con respecto a la muestra control (Figura 4).



**Figura 4.** Comportamiento de  $b^*$  en el tiempo de Fermentación

Por su parte, las muestras tratadas con CM al contrario de la muestra control (0min) aumentaron en la escala  $b^*$  a partir del día 8. Siguiendo con la comparación con el estudio realizado por Xia *et al.*, (2020), el CM de baja intensidad (<9mT) acelera la formación de nitrosilmetamioglobina a partir de metamioglobina, aumentando los valores en la escala de amarillez con respecto al tiempo de maduración. El descenso de la escala  $b^*$  para la muestra sin tratar concuerda con los resultados obtenidos Posthuma *et al.*, (2018) quienes afirman que el uso de nitrito de sodio aumenta el enrojecimiento y disminuye el color amarillento de productos cárnicos curados

**Estabilidad de la Emulsión (EE).** El tratamiento con CM no influye significativamente ( $\alpha > 0,05$ ) en la EE durante la fermentación. La EE puede mantenerse por diversos factores, como la disminución del contenido de humedad, cambios del pH, y el contenido de colágeno y tejido del tipo de carne utilizada. En la revisión bibliográfica realizada por Mirmoghtadaie *et al.*, (2016) el tratamiento con CMO incrementa la solubilidad e hidrofobicidad de las proteínas, aumentando la actividad emulsionante y la estabilidad de la emulsión, lo anterior

concuerda con los resultados obtenidos por Wang *et al.*, (2020) quien utilizó CME (9,5mT), y además afirma que una intensidad excesiva de CME suprime la CRA. Sin embargo, Guo *et al.*, (2019) quien compara los efectos del tratamiento con CME a densidades de 0,25, 0,5 y 1,4mT, afirma que 0,5mT fue la intensidad que obtuvo mejores resultados con respecto a la capacidad de retención de agua del gel, en el presente estudio se utilizó CM de 4,5mT y la falta de diferencia significativa con respecto a la muestra control puede estar dada por los factores mencionados, que permiten una EE durante el proceso de fermentación.

**Contenido de Humedad.** Todas las muestras presentan disminución del contenido de humedad durante el proceso de fermentación, iniciando con un promedio en el primer día de  $61,85 \pm 1,74\%$  hasta  $31,33 \pm 6,73\%$  en el día 20. Lo anterior indica que el tratamiento con CME no afecta significativamente ( $\alpha > 0,05$ ) el contenido de humedad. El descenso del contenido de humedad en la fermentación se debe a la disminución del contenido de agua que genera el secado (Moya *et al.*, 2017); y al uso de tripa natural (Gómez Patiño *et al.*, 2013).

Estos resultados difieren con los obtenidos por Yang *et al.*, (2020) quienes afirman que para muestras proteína miofibrilar de carne de cerdo, tratadas con CME a 3,8mT, la relación de reticulación entre proteína y agua fue más débil a pH 5,5 en comparación con otras condiciones de pH, y que la CRA disminuye a un pH entre 5,5 y 5,0.

#### Cambios en la Microbiota de la Emulsión.

Los análisis microbiológicos para coliformes totales y fecales, mostraron para el día 1 una reducción de 500 y 1000UFC/g para la muestra tratada con CME durante 10 minutos, con respecto a la muestra control. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Romero Barragán & Gélvez Ordóñez, (2013) y Ji *et al.*, (2009), quienes aplicaron una densidad de flujo de 0,1147T y 10mT, respectivamente. La disminución de la carga microbiana por el efecto del CME se debe a la formación de poros en la membrana celular consecuencia de la acumulación de cargas de polaridad opuesta a ambos lados de la bicapa lipídica de la membrana celular (McAuley *et al.*, 2016; Thangavelu *et al.*, 2019; Hussain *et al.*, 2020).

Sin embargo, para el día 20 la carga microbiana disminuyó a 200UFC/g de

coliformes totales y <3UFC/g de coliformes fecales, posiblemente debido a las condiciones de almacenamiento, y no al efecto del tratamiento con CME. Lo anterior concuerda con los datos obtenidos por Filipič *et al.* (2012) quienes aplicaron un tratamiento con CME de 5mT. Para Fojt *et al.*, (2004) esto se debe a que las células microbianas sobrevivientes se adaptan al entorno magnético y el número relativo de UFC deja de disminuir a través del tiempo, y se respalda en las observaciones hechas por Toepfl *et al.*, (2014); Li y Farid, (2016); Hernández-Hernández *et al.*, (2019) quienes indican que la electroporación de la membrana celular puede ser reversible si la intensidad del CME no supera el valor crítico necesario para afectar toda la membrana celular. De lo anterior se concluye que una intensidad de 4,5mT causa cambios en la membrana celular de coliformes totales y fecales que son reversibles durante el tiempo de fermentación.

Basado en los resultados se puede concluir que, el pH de las emulsiones de carne de cerdo inoculadas con *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, pretratadas con CME (4,5mT) y almacenadas durante 20 días (19-22°C/85-



95%HR) no varía con el tratamiento, pero este sí disminuye con el tiempo de almacenamiento. La actividad microbiana de *Lactobacillus bulgaricus* se ve afectada por el pretratamiento con CME (4,5mT) pero esta exhibe una recuperación a los 4 días de almacenamiento otorgando al producto las condiciones propias de la fermentación. En el color, el pretratamiento con CME (4,5mT) causa disminución en la luminosidad de las emulsiones, este efecto se mantiene hasta el día 4 de la fermentación. El parámetro  $a^*$  aumenta en todas las muestras tratadas y este cambio resulta proporcional al tiempo de tratamiento. El parámetro  $b^*$  presenta disminución hasta el día 8 y posteriormente exhibe el comportamiento contrario, es decir aumenta significativamente; estos cambios

#### **AGRADECIMIENTOS:**

A la Universidad de Pamplona, Extensión de Villa del Rosario y programa de Ingeniería de Alimentos. Al Grupo de Investigación en

se ven afectados por el tiempo de exposición al CM. Las emulsiones de carne de cerdo inoculadas con *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, pretratadas con CME (4,5mT) almacenadas durante 20 días (19-22°C/85-95%HR) son estables y su humedad no varía por efecto del pretratamiento. El pretratamiento con CME (4,5mT) durante 10 minutos disminuye en 500UFC de coliformes totales y 1000UFC de coliformes fecales en el día 1, pero este comportamiento no es proporcional al tiempo de almacenamiento, se presentan reducciones de los coliformes totales a 200UFC/g y coliformes fecales a <3UFC/g en las muestras, por efecto de las condiciones de almacenamiento.

Innovaciones Alimentarias-INNOVA y su semillero de Innovaciones Alimentarias-SIAL.

#### **CONFLICTOS DE INTERESES:**

El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de

intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

## BIBLIOGRAFICAS

- A.O.A.C. 1990. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. *Analytica Chimica Acta* (Internacional). 242(1):302.  
[https://doi.org/10.1016/0003-2670\(91\)87088-O](https://doi.org/10.1016/0003-2670(91)87088-O)
- ÁNGEL-RENDÓN, S.V.; FILOMENA-AMBROSIO, A.; HERNÁNDEZ-CARRIÓN, M.; LLORCA, E.; HERNANDO, I.; QUILES, A.; SOTELO-DÍAZ, I. 2020. Pork meat prepared by different cooking methods. A microstructural, sensorial and physicochemical approach. *Meat Science*. 163:108089.  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108089>
- BEKHIT, A.; SUWANDY, V.; CARNE, A.; VAN DE VEN, R.; HOPKINS, D. 2016. Effect of repeated pulsed electric field treatment on the quality of hot-boned beef loins and topsides. *Meat Science*. 111:139-146.  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.09.001>
- CÂMARA, A.; OKURO, P.; Da CUNHA, R.; HERRERO, A.M.; RUIZ-CAPILLAS, C.; POLLONIO M. 2020. Chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage as a new fat substitute in emulsified meat products: Technological, physicochemical, and rheological characterization. *LWT*, 125:109193.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109193>
- FILIPIČ, J.; KRAIGHER, B.; TEPUŠ B.; KOKOL V.; MANDIC-MULEC I. 2012. Effects of low-density static magnetic fields on the growth and activities of wastewater bacteria *Escherichia coli* and *Pseudomonas putida*. *Bioresource Technology*. 120:225-232.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.06.023>
- FOJT L.; STRAŠÁK, L.; VETTERL, V.; ŠMARDÁ, J. 2004. Comparison of the low-frequency magnetic field effects on bacteria *Escherichia coli*, *Leclercia adecarboxylata* and *Staphylococcus aureus*. *Bioelectrochemistry*. 63(1):337-341.  
<https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2003.11.010>

- FUENTES, L.; ACEVEDO, D.; GÉLVEZ, V.M. 2016. Efecto del Ultrasonido y Campos Magnéticos en la Carne de Lomo Atún (*Thunnus albacares*). Información Tecnológica (Colombia). 27(2):21-30. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000200004>
- GE, Q.; PEI, H.; LIU, R.; CHEN, L.; GAO, X.; GU, Y.; HOU, Q.; YIN, Y.; YU, H.; WU, M.; ZHANG, W.; ZHOU, G. 2019. Effects of *Lactobacillus plantarum* NJAU-01 from Jinhua ham on the quality of dry-cured fermented sausage. LWT.101:513–518. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.081>
- GÓMEZ PATIÑO, J.; SALAZAR CANO, J. A.; ÁLVAREZ MONTES, J.; FLÓREZ RESTREPO, C. 2013. Efecto de la concentración de cultivos iniciadores y dextrosa sobre la calidad de la maduración y vida útil sensorial del pepperoni. Rev. Lasallista de Investigación (Colombia), 10(1):101-111. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5021867>
- GONZALEZ-RIVAS, P.A.; CHAUHAN, S.S.; HA, M.; FEGAN, N.; DUNSHEA, F.R.; WARNER, R.D. 2020. Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: A review. Meat Science. 162:108025. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.10.8025>
- GUO, J.; ZHOU, Y.; YANG, K.; YIN, X.; MA, J.; LI, Z.; SUN, W.; HAN, M. 2019. Effect of low-frequency magnetic field on the gel properties of pork myofibrillar proteins. Food Chemistry. 274:775-781. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.028>
- HAN, Z.; CAI, M.; CHENG, J-H.; SUN, D-W. 2018. Effects of electric fields and electromagnetic wave on food protein structure and functionality: A review. Trends in Food Science & Technology. 75:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.02.017>
- HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, H.M.; MORENO-VILET, L.; VILLANUEVA-RODRÍGUEZ, S.J. 2019. Current status of emerging food processing technologies in Latin America: Novel non-thermal processing. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 58:102233. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102233>

- HUSSAIN, M.S.; DASTGEER, G.; AFZAL, A.M.; HUSSAIN, S.; KANWAR, R.R. 2020. Eco-friendly magnetic field treatment to enhance wheat yield and seed germination growth. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 14:100299. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100299>
- INGUGLIA, E.S.; ZHANG, Z.; TIWARI, B.K.; KERRY, J.P.; BURGESS C.M. 2017. Salt reduction strategies in processed meat products – A review. *Trends in Food Science & Technology*. 59:70–78. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.016>
- JI, W.; HUANG, H.; DENG, A.; PAN, C. 2009. Effects of static magnetic fields on *Escherichia coli*. *Micron*. 40(8):894–898. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2009.05.010>
- KIM, T.-K.; YONG, H.-I.; JUNG, S.; KIM, Y.-B.; CHOI, Y.-S. 2020. Effects of replacing pork fat with grape seed oil and gelatine/alginate for meat emulsions. *Meat Science*. 163:108079. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108079>
- LESIOW, T.; RENTFROW, G.K.; XIONG, Y.L. 2017. Polyphosphate and myofibrillar protein extract promote transglutaminase-mediated enhancements of rheological and textural properties of PSE pork meat batters. *Meat Science*. 128:40–46. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.02.002>
- LI, X.; FARID, M. 2016. A review on recent development in non-conventional food sterilization technologies. *Journal of Food Engineering*, 182:33–45. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.02.026>
- MCAULEY, C.M.; SINGH, T.K.; HARO-MAZA, J.F.; WILLIAMS, R.; BUCKOW, R. 2016. Microbiological and physicochemical stability of raw, pasteurised or pulsed electric field-treated milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 38:365–373. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.09.030>
- MIRMOGHTADAIE, L.; SHOJAEI ALIABADI, S.; HOSSEINI, S.M. 2016. Recent approaches in physical modification of protein functionality. *Food Chemistry* 199:619–627.



<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.067>

MORALES-DE LA PEÑA, M.; WELTICHANES, J.; MARTÍN-BELLOSO, O. 2019. Novel technologies to improve food safety and quality. *Current Opinion in Food Science*. 30:1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.10.009>

MOYA, Y.; BELDARRAÍN, T.; SANTOS, R.; GUERRA, M.A.; CEPERO, Y.; BRUSELAS, A.; FRÓMETA, Z.; VERGARA, N. 2017. Cambios en la microbiota durante la maduración de un chorizo. *Ciencia y Tecnología de Alimentos (Colombia)*. 21(2):664–664. <https://doi.org/ISBN 0864-4497>

NIAKOUSARI, M.; HASHEMI GAHRUIE, H.; RAZMJOOEI, M.; ROOHINEJAD, S.; GREINER, R. 2018. Chapter 5 - Effects of Innovative Processing Technologies on Microbial Targets Based on Food Categories: Comparing Traditional and Emerging Technologies for Food Preservation. En: Barba, F.J.; Sant'Ana, A. S.; Orlie, V.; Koubaa, M. (eds). *Emerging Technologies for Food*. Ed. Academic Press. p133–185

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-8111031-7.00005-4>

ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OCDE); FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). 2019. *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2019-2028*. OECD. <https://doi.org/10.1787/7b2e8ba3-es>

PINTON, M.B.; DOS SANTOS, B.A.; LORENZO, J.M.; CICHOSKI, A.J.; BOEIRA, C.P.; CAMPAGNOL, P.C.B. 2021. Green technologies as a strategy to reduce NaCl and phosphate in meat products: an overview. *Current Opinion in Food Science*. 40:1–5. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.03.011>

POSTHUMA, J.A.; RASMUSSEN, F.D.; SULLIVAN, G.A. 2018. Effects of nitrite source, reducing compounds, and holding time on cured color development in a cured meat model system. *LWT*. 95:47–50. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.040>

PURSLOW, P.P.; WARNER, R.D.; CLARKE, F.M.; HUGHES, J.M. 2020. Variations in



- meat colour due to factors other than myoglobin chemistry; a synthesis of recent findings (invited review). *Meat Science*. 159:107941. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107941>
- ROMERO BARRAGÁN, P.E.; GÉLVEZ ORDÓÑEZ, V.M. 2013. Efecto de los campos magnéticos y el ultrasonido sobre la calidad microbiológica y las propiedades funcionales en una emulsión de carne de bufalo (*Bubalus bubalis*). *Bistua: Revista de La Facultad de Ciencias Básicas (Colombia)*, 11(1):67-76. <https://doi.org/10.24054/01204211.v1.n1.2013.842>
- ROMERO, P.; GARCIA, C. 2016. Caracterización de la carne de Babilla (Caimán *Crocodylus Fuscus*) en Cautiverio. *Vitae (Colombia)*. 23(1):S627–S630. <https://search.proquest.com/openview/ff47819597fb991d832a81472fb3c754/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1806352>
- RUILOVA, M.B.; TORRES, R.D.; MONZÓN, A.H. 2017. Evaluación de las propiedades funcionales del *Pleurotus Ostreatus* y de la emulsión carne-hongo-grasa. *Ciencia y Tecnología de Alimentos (Colombia)*, 24(2).
- SHAHBAZ, H.M.; KIM, J.U.; KIM, S.-H.; PARK, J. 2018. Chapter 7 - Advances in Nonthermal Processing Technologies for Enhanced Microbiological Safety and Quality of Fresh Fruit and Juice Products. En: Grumezescu, A.M.; Holban, A.M. (Eds.), *Handbook of Food Bioengineering*. Ed. Academic Press. p.179–217. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811447-6.00007-2>
- SUN, J.; CAO, C.; FENG, M.; XU, X.; ZHOU, G. 2019. Technological and safety characterization of coagulase-negative staphylococci with high protease activity isolated from Traditional Chinese fermented sausages. *LWT*. 114:108371. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108371>
- SWATLAND, H.J. 2012. Optical properties of meat. In *Proceedings of the 65th Reciprocal Meat Conference (Vol. 17:1–7)*.
- THANGAVELU, K.P.; KERRY, J.P.; TIWARI, B.K.; MCDONNELL, C.K. 2019. Novel processing technologies and ingredient

strategies for the reduction of phosphate additives in processed meat. *Trends in Food Science & Technology*, 94:43–53. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.10.001>

TOEPFL, S.; SIEMER, C.; SALDAÑA-NAVARRO, G.; HEINZ, V. 2014. Chapter 6 - Overview of Pulsed Electric Fields Processing for Food. In: Sun, D.-W. (Eds.) *Emerging Technologies for Food Processing*. Second E. Sun pp.93–114. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411479-1.00006-1>

UTRILLA, M.C.; GARCÍA RUIZ, A.; SORIANO, A. 2014. Effect of partial reduction of pork meat on the physicochemical and sensory quality of dry ripened sausages: Development of a healthy venison salchichon. *Meat Science*. 98(4):785–791. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.07.027>

WANG, X.; XIA, M.; ZHOU, Y.; WANG, L.; FENG, X.; YANG, K.; MA, J.; LI, Z.; WANG, L.; SUN, W. 2020. Gel properties of myofibrillar proteins heated at different heating rates under a low-frequency magnetic field. *Food Chemistry*,

321:126728.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126728>

XIA, M.; CHEN, Y.; MA, J.; YIN, X.; LI, Z.; XIONG, G.; WANG, L.; WU, W.; SUN, W.; ZHOU, Y. 2020. Low frequency magnetic fields modification on hydrogen peroxide oxidized myoglobin-isolate and mechanisms underlying the chain reaction process. *Food Chemistry*. 312:126069. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126069>

YANG, K.; ZHOU, Y.; GUO, J.; FENG, X.; WANG, X.; WANG, L.; MA, J.; SUN, W. 2020. Low frequency magnetic field plus high pH promote the quality of pork myofibrillar protein gel: A novel study combined with low field NMR and Raman spectroscopy. *Food Chemistry*. 326:126896. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126896>

ZHANG, D.; LI, H.; EMARA, A.M.; HU, Y.; WANG, Z.; WANG, M.; HE, Z. 2020. Effect of in vitro oxidation on the water retention mechanism of myofibrillar proteins gel from pork muscles. *Food Chemistry*. 315:126226.



<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126226>

ZHU, Y.; LI, C.; CUI, H.; LIN, L. 2020. Plasma enhanced-nutmeg essential oil solid liposome treatment on the gelling and storage properties of pork meat batters. Journal of Food Engineering. 266:109696. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109696>.