

RESUMEN

La carne de ave es la más consumida mundialmente y se prevé que este consumo aumente. La ocurrencia de miopatías, defectos musculares fundamentalmente localizados en la pechuga, se ha visto incrementada en los últimos años, destacando tres: la beta blanca, la pechuga de madera y la carne espagueti. Estas provocan lesiones musculares que impactan drásticamente en la calidad de la carne. Modifican la composición química y como consecuencia reducen su calidad nutricional. Reducen la funcionalidad y aptitud de la carne para su procesado. También alteran la apariencia y la aceptación por parte de los consumidores, así como pueden modificar el crecimiento de microorganismos alterantes en la carne durante el almacenamiento. La detección y correcta clasificación de la carne afectada resulta esencial para darle el mejor procesado posterior y destino final. Esto se debe complementar con estrategias para disminuir la incidencia de estos defectos mediante intervenciones nutricionales, de manejo y la selección genética.

INTRODUCCIÓN.

La carne de ave es la más consumida a nivel mundial, representando aproximadamente el 40% del total de carne consumida en 2023. Se prevé, además, que para 2033 el consumo aumente en torno a un 16%, lo que supondrá la mitad del incremento total de consumo de carne a nivel mundial (OECD/FAO, 2024). Es una carne popular por varios motivos siendo el precio uno de los principales, mucho menor que el de la carne de otras especies. Además, se trata de una combinación saludable de proteína de alta calidad y elevado contenido de grasas poliinsaturadas. Es una carne atractiva también para los consumidores preocupados por la sostenibilidad y el medio ambiente ya que el sistema productivo avícola requiere menos recursos y genera menos emisiones de gases de efecto invernadero que la carne de otras especies (OECD/FAO, 2024). En 2023, España produjo aproximadamente 1.697 millones de toneladas

de carne de pollo, el 12,9% de la producción en la Unión Europea, situándose como el segundo mayor productor después de Polonia (Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, 2024).

Para dar respuesta a esta gran demanda, la industria avícola se ha centrado en optimizar el rendimiento de los animales a través de la dieta y las condiciones ambientales, y, en especial, a través de una intensa selección genética. Como resultado, las líneas comerciales de pollo de carne o broiler actualmente alcanzan de media los 2,7 kg tras 38 días de engorde, con un rendimiento de la canal del 73% y de la pechuga del 25% (respecto al peso vivo) (Aviagen, 2020). Varios autores apuntan que a causa de este dramático cambio en la fisiología del pollo han aparecido las miopatías, defectos musculares que afectan a diferentes aspectos de la calidad de la carne de pollo (Petracci *et al.*, 2019).

PRINCIPALES MIOPATÍAS Y SUS CARACTERÍSTICAS.

Las miopatías con una mayor relevancia actualmente se localizan fundamentalmente en la pechuga y son: la beta blanca o white striping, la pechuga de madera o wooden breast, y la pechuga espagueti o spaghetti meat. En la Figura 1 se muestran estas tres miopatías junto con una pechuga sin miopatías. La miopatía white striping (WS), se caracteriza por la presencia de estrías blancas en la dirección de la fibra muscular. Esta miopatía fue la primera de las tres en ser detectada y, aunque existen evidencias de que los consumidores no la valoran positivamente (Kuttappan *et al.*, 2012), está ampliamente extendida en la industria y su comercialización se considera prácticamente normal (Che *et al.*, 2022). La miopatía wooden breast (WB) se caracteriza por un endurecimiento del músculo, habitualmente acompañado de zonas de coloración pálida y petequias (pequeñas hemorragias capilares) (Petracci *et al.*, 2019). Es la miopatía más estudiada tanto por las importantes consecuencias a nivel de calidad como por su incidencia y persistencia en la industria. Por último, la



MIOPATÍAS EN POLLOS DE ENGORDE:

**características,
consecuencias
y soluciones**

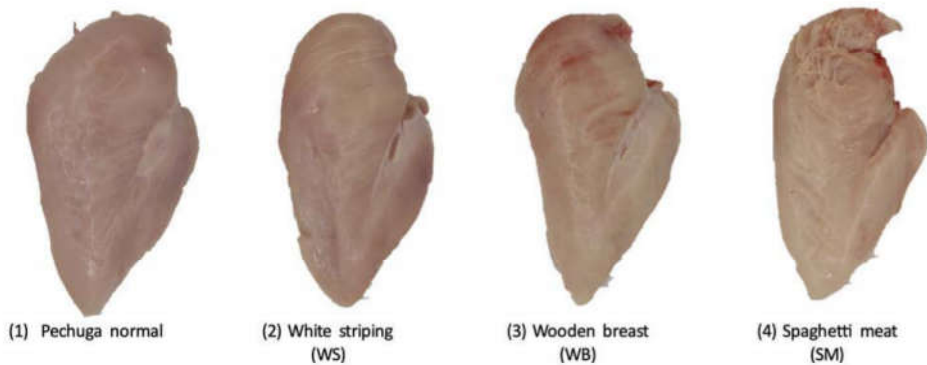


miopatía spaghetti meat (SM) ha sido la última en aparecer y por lo tanto existe menos información. Se caracteriza por la pérdida de cohesión de las fibras musculares, lo que hace que estas se disgreguen en tiras, dando a la carne la apariencia de espaguetis (Soglia *et al.*, 2019).

Las tres miopatías presentan lesiones comunes a nivel histológico, incluyendo la infiltración de glóbulos blancos y la muerte de células musculares. Esta muerte celular viene acompañada de infiltración de tejido conectivo (fibrosis), adiposo (lipidosis) y agua (Baldi *et al.*, 2018; Sanden *et al.*, 2021; Soglia *et al.*, 2016). En el caso de la WS, mayoritariamente se produce lipidosis, donde las células adiposas

ocupan el espacio de las fibras musculares, lo cual se manifiesta en las características estriaciones blancas (Baldi *et al.*, 2018). En el caso de la WB y la SM, el tejido conectivo se ve incrementado. En la WB las fibras de colágeno que forman el tejido conectivo son más compactas y tienen un mayor diámetro, mientras que en la SM se observan más inmaduras, pequeñas y delgadas (Sanden *et al.*, 2021). Esto concuerda con sus características macroscópicas, ya que el incremento y compactación de las fibras de colágeno en la WB pueden contribuir a su endurecimiento, mientras que la falta de madurez del colágeno en la SM puede explicar la falta de cohesión entre sus fibras musculares.

Figura 1. Imágenes de la pechuga izquierda de pollos comerciales afectados con miopatías (2, 3 y 4) y sin ninguna miopatía presente⁽¹⁾.





vaxigen[®] newH5[®]

REG. B-0258-031

Más información
del producto.



Mejora el Control de la Influenza Aviar

- Vacuna activa recombinante dual en virus vector Newcastle LaSota.
- Complementa y refuerza la inmunidad y protección de las parvadas.
- Efectiva contra Newcastle e Influenza Aviar H5 de Baja y de Alta Patogenicidad.
- Versatilidad de aplicación: ocular, oral y aspersión.

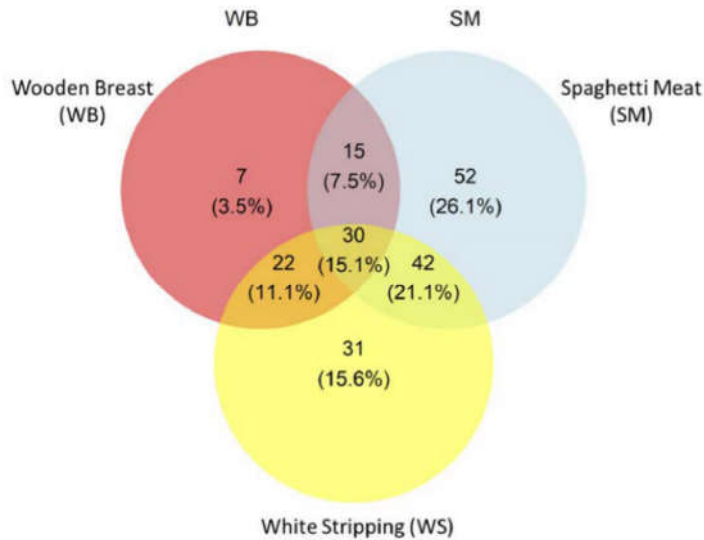


 **Avimex[®]**
salud animal

LABORATORIO AVI-MEX, S.A. DE C.V.
Maíz No.18, Col. Granjas Esmeralda, CDMX, México, 09810
Tel. +52 (55) 5445-0460, ventas@avimex.com.mx, www.avimex.com.mx

Información Técnica para uso del Médico Veterinario

Figura 2. Diagrama de Venn expresando la concurrencia de miopatías en pechugas de pollo comerciales (Fuente: Muñoz-Lapeira *et al.*, 2023).



Las alteraciones histológicas observadas tienen su origen en la alteración de vías de expresión génica relacionadas con la hipoxia y el estrés oxidativo. La hipertrofia muscular producida por la alta selección genética reduce el espacio disponible en la anatomía del músculo para los vasos y capilares sanguíneos (Alnahhas *et al.*, 2023). Esto provoca una falta de circulación que, como resultado, lleva a una hipoxia generalizada en las fibras musculares. La prolongación de este estado fisiológico altera el metabolismo celular, generando radicales libres (estrés oxidativo) y activando la deposición de lípidos y proteínas extracelulares como el colágeno (Alnahhas *et al.*, 2023).

La hipótesis de una vía patológica común se apoya en la alta concurrencia de las miopatías. En un estudio propio (Muñoz-Lapeira *et al.*, 2023) realizado con pechugas de pollo comerciales con WS, WB y SM, y con pechugas control (sin miopatías) se observó que, de entre las pechugas afectadas por alguna miopatía, un 54,8% presentó dos miopatías y un 15,1% presentó las tres (Figura 2). En este mismo estudio, además, se encontró una asociación estadísticamente significativa entre las miopatías WB y WS, pero no se encontró asociación entre ninguna

de éstas y la SM. Esto hace pensar que la WB y la WS comparten un mecanismo común, o que una es sucesión de la otra, mientras que la SM puede tener otro origen. De hecho, la heredabilidad de la SM es baja y presenta una débil asociación con la edad de sacrificio, el ritmo de crecimiento y el peso al sacrificio, datos que apoyan la hipótesis de que otros mecanismos relacionados con el procesamiento durante y después del sacrificio, tienen una influencia en su aparición o en su severidad (Baldi *et al.*, 2021).

CONSECUENCIAS EN LA CALIDAD DE LA CARNE.

Composición química y calidad nutricional.

Las alteraciones musculares asociadas a las miopatías provocan cambios en la composición química de la carne (Petracci *et al.*, 2019; Bošković *et al.*, 2023). Las pechugas con miopatías (WS, WB y/o SM) suelen presentar un mayor contenido de humedad y grasa, y un menor contenido de proteína y cenizas que las pechugas sin miopatías. Respecto al contenido en colágeno, algunos estudios han observado un contenido total superior en la carne con miopatías mientras que otros no han observado ningún efecto significativo. En general, estos cambios tienen un impacto negativo en la calidad nutricional de la carne. En las pechugas con WS y/o WB, la disminución del contenido de proteína va acompañada de una reducción en los aminoácidos esenciales como la arginina, histidina, leucina, valina y triptófano (Dalle Zotte *et al.*, 2020). Asimismo, la digestibilidad de la proteína de la carne se ve reducida al incrementar el contenido en colágeno respecto al de proteínas miofibrilares. El incremento en el contenido de grasa modifica ligeramente el perfil lipídico, pero estos cambios no empeoran los principales índices

nutricionales. No obstante, se ha visto que la carne con miopatías, WB principalmente, es más susceptible al daño oxidativo que afecta a los lípidos y a las proteínas (Petracci *et al.*, 2019).

Calidad tecnológica

Está bien establecido que la intensa degeneración de las fibras musculares provocadas por las miopatías hace que la carne afectada presente una menor capacidad de retención de agua, una menor absorción y retención de marinado, y una capacidad gelificante y emulsionante reducida en comparación con la carne no afectada (Petracci *et al.*, 2019). Estas consecuencias reducen drásticamente la funcionalidad y aptitud de la carne, y se agravan con la severidad de las miopatías.

Respecto al efecto sobre el color de la carne, los resultados no son siempre consistentes (Bošković *et al.*, 2023). En algunos estudios se ha observado un incremento de la luminosidad y el índice de amarillo en la carne con miopatías, mientras que en otros estudios no se ha observado un impacto relevante en los índices de color evaluados.

Los cambios en la textura asociados a las miopatías están bien documentados, aunque los resultados varían entre estudios. En general, las pechugas con WB se caracterizan por una mayor dureza, evaluada mediante test de corte y de compresión, así como por una mayor cohesividad, densidad, masticabilidad y fibrosidad que la carne normal (Petracci *et al.*, 2019). No obstante, algunos estudios han observado una menor dureza en pechugas WB en comparación con pechugas no afectadas después del cocinado (Sánchez-Brambila *et al.*, 2018; Byron *et al.*, 2020). Estos resultados pueden ser debidos a la naturaleza térmicamente lábil de los enlaces cruzados de las fibras de tejido conectivo y a su mayor solubilidad cuando se aplica calor (Soglia *et al.*, 2017; Campo *et al.*, 2020). Además, las lesiones miopáticas no se distribuyen de forma homogénea a lo largo de la pechuga ni tampoco entre las capas profundas y superficiales. Este aspecto se debe tener en cuenta ya que puede dificultar la inclusión de los cambios en la estructura muscular en la muestra en la que se evalúa la textura. Las pechugas con WS y SM, normalmente presentan una menor dureza que aquellas sin miopatías, lo que se asocia al mayor contenido de grasa en el caso de la WS, y al menor grado de entrecruzamiento de las fibras de colágeno en la SM (Bošković *et al.*, 2023).

Calidad sensorial

El aspecto o apariencia general que presenta la carne con miopatías se ve claramente modificado con respecto a la carne sin alteraciones, como se muestra en la Figura 1. Ante estas alteraciones macroscópicas cabe pensar que los consumidores rechazarán la carne con miopatías al asociarla con una carne alterada o “enferma” (Petracci *et al.*, 2019). En el trabajo de Kuttappan *et al.* (2012) se observó que las pechugas con WS eran peor puntuadas en cuanto a la apariencia general que las pechugas normales, y que esta puntuación empeoraba con la severidad de la miopatía. Asimismo, la presencia de WB empeoró la apariencia visual valorada en un estudio de consumidores (Dalle Zotte *et al.*, 2017). El cocinado de la carne no ayuda a mejorar la percepción de los consumidores ya que la carne con WS y WB resulta, en general, más dura (Tasoniero *et al.*, 2016).

En un estudio reciente (Muñoz-Lapeira *et al.*, 2024) en el que se evaluó la apariencia visual, olor e intención de compra entre miopatías a lo largo de la vida útil, se ha observado que las pechugas con WB y SM resultan menos deseables a nivel visual respecto a las pechugas control y esto disminuye significativamente la intención de compra de estas pechugas. No se detectaron diferencias en el olor entre miopatías, aunque Tasoniero *et al.* (2016) sí que observaron que las WS tenían un intenso olor desagradable tras su cocción después de 3 meses de congelación. Todos los atributos estudiados en Muñoz-Lapeira *et al.* (2024) presentaron peores puntuaciones en las pechugas con miopatías a lo largo del tiempo de almacenamiento, realizado en condiciones de refrigeración (4°C) y envasado en atmosfera modificada (30% O₂, 40% CO₂, 30% N₂), alcanzando puntuaciones cercanas al límite de aceptación después de 7 días e inaceptables después de 14 días.

Calidad microbiológica.

La calidad microbiológica de la carne con miopatías es un ámbito menos estudiado en comparación con los otros atributos y los estudios publicados hasta el momento son poco concluyentes. Gratta *et al.* (2019) reportaron unos mayores recuentos iniciales de aerobios mesófilos totales y de *Pseudomonas spp.* en las pechugas sin miopatías respecto a las que presentaban WS y WB. Además, las primeras se deterioraban antes que las segundas durante su almacenamiento

en refrigeración (4°C) y envasado al aire (5 vs. 6 días). Los recuentos de Enterobacterias y de bacterias lácticas fueron superiores en las pechugas sin miopatías, intermedias en las WS, e inferiores en WB hasta los 9 días de almacenamiento. Por otro lado, Dalgaard *et al.* (2018) no encontraron diferencias para los recuentos de aerobios mesófilos totales entre pechugas normales y WB en ningún día del periodo de almacenamiento en refrigeración (4°C) y envasadas en atmosfera modificada (30% CO₂, 70% N₂). Sin embargo, sí que observaron un mayor crecimiento del grupo de Enterobacterias en las pechugas WB entre el día 6 y 8.

En el estudio de Muñoz-Lapeira *et al.* (2024) se confirma que las miopatías modifican el crecimiento de microorganismos alterantes en la carne durante su almacenamiento en refrigeración. A partir del día 11, los recuentos de aerobios mesófilos totales, Enterobacterias, *Brochothrix spp.* y *Pseudomonas spp.* fueron superiores en las pechugas WB respecto a las pechugas sin miopatías, y las pechugas SM mostraron valores intermedios.

4. MÉTODOS DE DETECCIÓN Y SOLUCIONES.

La detección de las miopatías en el matadero y/o planta de procesado resulta esencial para identificar

la carne defectuosa y desviarla, si es necesario, a una línea diferente para un procesado posterior. El método más extendido de detección de miopatías es la inspección visual y palpación. Este método presenta numerosas desventajas puesto que es subjetivo, invasivo y requiere tiempo y personal entrenado. Por ello, se han investigado diferentes tecnologías para automatizar y hacer más objetiva la detección y clasificación de las miopatías. Estas están resumidas en la Tabla 1 según su principio y la miopatía que detectan.

En el caso de la miopatía WB, se han desarrollado diferentes equipos industriales para su detección en línea. El primero de ellos es el equipo comercial TOMRA QV-P (TOMRA Sorting Food), el cual se basa en la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR en sus siglas en inglés) y se aplica en la pechuga. La espectroscopía NIR permite inferir las propiedades químicas de la muestra analizada. Esta tecnología se basa en incidir radiación infrarroja en la muestra y detectar la cantidad e intensidad de la luz reflejada o transmitida. La luz interacciona con las moléculas presentes en la muestra, que absorben ciertas longitudes de onda concretas. El equipo de TOMRA Sorting Food opera en un rango de longitud de onda entre 760 y 1040 nm. En estas longitudes de onda se puede clasificar la WB con una precisión de entre

En el estudio de Muñoz-Lapeira et al. (2024) se confirma que las miopatías modifican el crecimiento de microorganismos alterantes en la carne durante su almacenamiento en refrigeración.





Industrial Farmacéutica Veterinaria

Emiliano Zapata #200, Col. Centro,
Tlaquepaque, Jalisco, México. C.P.45500

☎ 33 36 35 27 17 , 33 31 23 03 06

Espect-Tos[®]

Expectorante mucolítico
hidrodispersable.



Actúa como coadyuvante en la
prevención y tratamiento de
afecciones del tracto respiratorio
en aves.

www.capsa-ifv.com

Tabla 1. Resumen de estudios publicados en relación con tecnologías para la detección de miopatías en la pechuga o canal de pollo.

	Principios mecánicos	Espectroscopía	Visión
Wooden breast	(Morey <i>et al.</i> , 2020; Sun <i>et al.</i> , 2021)	(Wold <i>et al.</i> , 2017, 2019; Wold y Løvland, 2020)	(Hanning <i>et al.</i> , 2020)
White striping	-	(Traffano-Schiffo <i>et al.</i> , 2017)	(Kato <i>et al.</i> , 2019)
Spaghetti meat	-	(Campo <i>et al.</i> , 2020; Wold y Løvland, 2020)	

99,5 y 100% debido a la diferencia en contenido proteico y humedad respecto a las pechugas sin miopatías (Wold *et al.*, 2017). Hay, además, otros dos equipos, registrados bajo patente, que se basan en las propiedades morfológicas o físicas que infieren a través de una imagen digital, una tomada en la canal (n° patente US010806153B2) y la otra en la pechuga (n° patente WO/2018/213535). En el primer sistema, una cámara digital acoplada a un procesador mide el ángulo y área asociada con la punta del hueso de la quilla y la carne circundante en la canal (Hanning *et al.*, 2020). A partir de estas propiedades discierne las WB, que típicamente son más grandes y voluminosas. En el segundo sistema, una cámara recopila el movimiento de la pechuga mientras esta cae libremente de una cinta transportadora a otra colocada en un nivel inferior (Yoon *et al.*, 2018). Según la distancia entre el centro de masa y el eje de rotación de la pechuga, se infiere el grado de rigidez de ésta.

Otros sistemas han dado buenos resultados para detectar la WB, como la impedancia bioeléctrica y la deformación por aire presurizado. La impedancia bioeléctrica consiste en medir la resistencia que ofrece un cuerpo ante la aplicación de una corriente eléctrica de baja intensidad, y consigue inferir la proporción de magro y grasa. En este caso, las pechugas WB oponían mayor resistencia, indicando la presencia de mayor tejido graso, y presentaban mayor reactancia, es decir, mayor oposición al cambio de flujo de la corriente eléctrica, indicando que tenían mayor cantidad de células y mayor integridad en



sus membranas celulares (Morey *et al.*, 2020).

Por otro lado, ante la aplicación de aire presurizado (344 kPa) las pechugas WB, al ser más rígidas, presentaron una deformación de menor diámetro (Sun *et al.*, 2021). Pese a estos resultados, ninguna de estas técnicas se aplica industrialmente, en el primer caso debido a que se requiere la punción de la muestra para tomar la medida, y en el segundo debido a la colocación precisa de la muestra ante el aire presurizado, aspecto difícil de conseguir en un entorno industrial.

Respecto la detección de la miopatía WS, el uso de atributos derivados de una imagen digital (valores basados en histogramas, descriptores de contraste y calidad, matrices de concurrencia de niveles de gris y características del dominio del espectro de la transformada rápida de Fourier) resultaron útiles para clasificar estas pechugas, con una precisión del 86,4% (Kato *et al.*, 2019). En la canal, Traffano-Schiffo *et al.* (2017) usaron espectrofotometría de radiofrecuencia (500 MHz a 20 GHz) y detectaron diferencias en la permitividad, debido a las inserciones de grasa características de la WS.

La detección de la miopatía SM no ha tenido soluciones tan evidentes. En Wold y Løvland (2020), en el que se utiliza el equipo NIR TOMRA QV-P (TOMRA Sorting Food), estas pechugas se confundían con las normales y WB, al tener un espectro intermedio entre las dos. Sin embargo, Campo *et al.* (2020) encontraron que, en el espectro visible, tan solo con el uso de dos longitudes de onda, a 420 y 630 nm, se podía clasificar esta carne con una precisión del 94,7%.

La tomografía computarizada (TC) ha sido recientemente aplicada para clasificar miopatías a partir de las características internas de la canal (Zomeño *et al.*, 2024). Esta tecnología utiliza rayos X para crear imágenes con mucho detalle del interior de la muestra. En este estudio se observó que las pechugas con miopatías presentaban características morfológicas (área, perímetro) y de densidad diferentes a las pechugas sin miopatías, especialmente la WB. Estos hallazgos se relacionaron con el cambio en la morfología y en la estructura y composición de las pechugas con miopatías, con una sustitución de las fibras musculares por grasa, agua y colágeno. Asimismo, se obtuvieron imágenes de la sección transversal de las pechugas, en las que se observaron zonas de diferente densidad, compatibles con las lesiones descritas para las miopatías. La TC presenta limitaciones para ser implementada industrialmente ya que requiere de unas instalaciones especiales de seguridad radiológica, así como un tiempo de captura y procesado de imágenes. Sin embargo, puede ser útil para realizar estudios con grupos reducidos de animales, tanto vivos como después del sacrificio, que permitan aportar más conocimiento sobre las miopatías, sobre todo de las menos estudiadas como la SM, así como para evaluar la efectividad de estrategias para reducir la incidencia de las miopatías.

La búsqueda de soluciones para reducir la notable incidencia de las miopatías y para mitigar los efectos negativos que producen se ha convertido en un objetivo principal para la ciencia y la industria avícola (Petracci *et al.*, 2019). En este sentido, las soluciones a corto y medio plazo para reducir la incidencia de las miopatías pasan fundamentalmente por la modulación del crecimiento de las aves mediante estrategias nutricionales y de manejo. Asimismo, se están implementando estrategias de procesamiento de la carne (procesado por separado de las partes superficiales y profundas, marinado, masaje al vacío) para minimizar el impacto en la calidad del producto. Finalmente, como soluciones a largo plazo, se está avanzando en la selección de líneas genéticas con una menor susceptibilidad a desarrollar miopatías (Barbut, 2019), y se debe profundizar en el conocimiento sobre la influencia de los factores pre y post-mortem y su interacción en la incidencia sobre todo de las miopatías más recientes como la SM. *JD*

MÍRIAM MUÑOZ-LAPEIRA1,
IRTA-Programa de Seguridad y Funcionalidad Alimentarias,
Finca Camps i Armet s/n, 17121 Monells, España;
Correo: miriam.munoz@irta.cat

ANNA JOFRÉ
IRTA-Programa de Seguridad y Funcionalidad Alimentarias,
Finca Camps i Armet s/n, 17121 Monells, España.
Correo: anna.jofre@irta.cat

MARIA FONT-I-FURNOLS,
IRTA-Programa de Calidad y Tecnología Alimentarias,
Finca Camps i Armet s/n, 17121 Monells, España;
Correo: maria.font@irta.cat

CRISTINA ZOMEÑO
IRTA-Programa de Calidad y Tecnología Alimentarias,
Finca Camps i Armet s/n, 17121 Monells, España;
Departamento de Producción y Sanidad Animal, Salud Pública Veterinaria y
Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Facultad de Veterinaria, Universidad
Cardenal Herrera-CEU, CEU Universities, 46115 Alfara del Patriarca, España;
Correo: cristina.zomeno@uchceu.es

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alnahhas, N., Pouliot, E., & Saucier, L. (2023). The hypoxia-inducible factor 1 pathway plays a critical role in the development of breast muscle myopathies in broiler chickens: a comprehensive review. *Frontiers in Physiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1260987>
- Aviagen. (2020). Broiler: Performance Objectives. Aviagen Group. url: https://aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/RosssRoss308-BroilerPerformanceObjectives2022-EN.pdf
- Baldi, G., Soglia, F., Mazzoni, M., Sirri, F., Canonico, L., Babini, E., Laghi, L., Cavani, C., & Petracci, M. (2018). Implications of white striping and spaghetti meat abnormalities on meat quality and histological features in broilers. *Animal*, 12(1), 164–173. <https://doi.org/10.1017/S1751731117001069>
- Baldi, G., Soglia, F., & Petracci, M. (2021). Spaghetti Meat Abnormality in Broilers: Current Understanding and Future Research Directions. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.684497>
- Barbut, S. (2019). Recent myopathies in broiler's breast meat fillets. *World's Poultry Science Journal*, 75:4, 559-582. <https://doi.org/10.1017/S0043933919000436>
- Bošković-Cabrol, M., M. Petracci, and A. Trocino. 2023. Wooden Breast, White Striping and Spaghetti Meat: Chemical Composition, Technological Quality, Microbiological profile and Sensory Attributes of Broiler Breasts. *Meat Technology*, 64(2):75-81.
- Byron, M. D., Zhang, X., Von Staden, M. E., Jarvis, T. R., Crist, C. A., Zhai, W., & Schilling, M. W. (2020). Impact of Refrigerated Storage Time on Woody Broiler Breast Severity and Instrumental Quality. *Meat and Muscle Biology*, 4(1). <https://doi.org/10.22175/mmb.9477>
- Campo, M. D. M., Mur, L., Guerrero, A., Barahona, M., Resconi, V. C., Magalhães, D. R., Lisbinski, E., Boito, B., Oliveira, I. M. De, & Olleta, L. (2020). Differentiating Breast Myopathies through Color and Texture Analyses in Broiler. *Foods*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/foods9060824>
- Che, S., Wang, C., Varga, C., Barbut, S., & Susta, L. (2022). Prevalence of breast muscle myopathies (spaghetti meat, woody breast, white striping) and associated risk factors in broiler chickens from Ontario

- Canada. PLOS ONE, 17(4), e0267019. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0267019>
- Dalgaard, L. B., Rasmussen, M. K., Bertram, H. C., Jensen, J. A., Møller, H. S., Aaslyng, M. D., Hejbøl, E. K., Pedersen, J. R., Elsser-Gravesen, D., & Young, J. F. (2018). Classification of wooden breast myopathy in chicken pectoralis major by a standardised method and association with conventional quality assessments. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(7), 1744–1752. <https://doi.org/10.1111/IJFS.13759>
 - Dalle Zotte, A., Tasoniero, G., Puolanne, A., Remignon, H., Cecchinato, M., Catelli, E., & Cullere, M. (2017). Effect of 'Wooden Breast' appearance on poultry meat quality, histological traits, and lesions characterization. *Czech Journal of Animal Science*, 62(2), 51–57. <https://doi.org/10.17221/54/2016-CJAS>
 - Dalle Zotte, A., Ricci, R., Cullere, M., Serva, L., Tenti, S., & Marchesini, G. (2020). Research Note: Effect of chicken genotype and white striping–wooden breast condition on breast meat proximate composition and amino acid profile. *Poultry Science*, 99, 1797–1803. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.10.066>
 - DIRECCIÓN GENERAL DE PRODUCCIONES Y MERCADOS AGRARIOS. (2024). <http://publicacionesoficiales.boe.es/>
 - Estévez, M., & Luna, C. (2017). Dietary protein oxidation: A silent threat to human health? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(17), 3781–3793. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1165182>
 - Gratta, F., Fasolato, L., Birolò, M., Zomeño, C., Novelli, E., Petracchi, M., Pascual, A., Xiccato, G., & Trocino, A. (2019). Effect of breast myopathies on quality and microbial shelf life of broiler meat. *Poultry Science*, 98(6), 2641–2651. <https://doi.org/10.3382/ps/pez001>
 - Hanning, C. O., Sun, X., Caldas-Cueva, J. P., & Maurostakos, A. (2020). System and method for detecting woody breast condition in broilers using image analysis of carcass features (Patent US010806153B2).
 - Kato, T., Mastelini, S. M., Campos, G. F. C., da Costa Barbon, A. P. A., Prudencio, S. H., Shimokomaki, M., Soares, A. L., & Barbon, S. (2019). White striping degree assessment using computer vision system and consumer acceptance test. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32(7), 1015–1026. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0504>
 - Morey, A., Smith, A. E., Garner, L. J., & Cox, M. K. (2020). Application of Bioelectrical Impedance Analysis to Detect Broiler Breast Filets Affected With Woody Breast Myopathy. *Front. Physiol*, 11, 808. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00808>
 - Muñoz-Lapeira, M., Font-i-Furnols, M., Brun, A., Gispert, M., Jofré, A., & Zomeño, C. (2023). Asociaciones entre las miopatías white striping, wooden breast y spaguetti meat en pechugas de pollos de engorde comerciales. Libro de resúmenes de las XX Jornadas sobre Producción Animal de AIDA, Zaragoza, España. 41.
 - Muñoz-Lapeira, M., Zomeño, C., Font-i-Furnols, M., & Jofré, A. (2024). Myopathies shorten shelf-life of chicken breast meat (poster). Libro de resúmenes del 28th International ICFMH Conference, Burgos, Spain. 145.
 - OECD/FAO. (2024). OECD-FAO Agricultural Outlook 2024-2033. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/4c5d2cfb-en>
 - Petracci, M., Soglia, F., Madruga, M., Carvalho, L., Ida, E., & Estévez, M. (2019). Wooden-Breast, White Striping, and Spaghetti Meat: Causes, Consequences and Consumer Perception of Emerging Broiler Meat Abnormalities. In *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* (Vol. 18, Issue 2, pp. 565–583). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12431>
 - Sanchez Brambila, G., Bowker, B. C., Chatterjee, D., & Zhuang, H. (2018). Processing and products descriptive texture analyses of broiler breast filets with the wooden breast condition stored at 4°C and -20°C. *Poultry Science*, 97(5), 1762–1767. <https://doi.org/10.3382/ps/pew327>
 - Sanden, K. W., Böcker, U., Ofstad, R., Pedersen, M. E., Host, V., Afseth, N. K., Rønning, S. B., & Pleshko, N. (2021). Characterization of collagen structure in normal, wooden breast and spaghetti meat chicken filets by fir microspectroscopy and histology. *Foods*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/foods10030548>
 - Soglia, F., Mudalal, S., Babini, E., Di Nunzio, M., Mazzoni, M., Sirri, F., Cavani, C., & Petracchi, M. (2016). Histology, composition, and quality traits of chicken Pectoralis major muscle affected by wooden breast abnormality. *Poultry Science*, 95(3), 651–659. <https://doi.org/10.3382/PS/PEV353>
 - Soglia, F., J. Gao, M. Mazzoni, E. Puolanne, C. Cavani, M. Petracchi, and P. Erbjerg. (2017). Superficial and deep changes of histology, texture and particle size distribution in broiler wooden breast muscle during refrigerated storage. *Poultry Science*. 96:3465–3472. <https://doi.org/10.3382/ps/pex115>
 - Soglia, F., Mazzoni, M., & Petracchi, M. (2019). Spotlight on avian pathology: current growth-related breast meat abnormalities in broilers. *Avian Pathology*, 48(1), 1–3. <https://doi.org/10.1080/03079457.2018.1508821>
 - Sun, X., Maynard, C. J., Caldas-Cueva, J. P., Coon, C. N., & Owens, C. M. (2021). Using air deformation of raw fillet surfaces to identify severity of woody breast myopathy in broiler filets. *LWT*, 141, 110904. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.110904>
 - Tasoniero, G., Bertram, H. C., Young, J. F., Dalle Zotte, A., & Puolanne, E. (2017). Relationship between hardness and myowater properties in Wooden Breast affected chicken meat: A nuclear magnetic resonance study. *LWT*, 86, 20–24. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.07.032>
 - Tasoniero, G., Cullere, M., Cecchinato, M., Puolanne, E., & Dalle Zotte, A. (2016). Technological quality, mineral profile, and sensory attributes of broiler chicken breasts affected by White Striping and Wooden Breast myopathies. *Poultry Science*, 95(11), 2707–2714. <https://doi.org/10.3382/PS/PEW215>
 - Traffano-Schiffo, M. V., Castro-Giraldez, M., Colom, R. J., & Fito, P. J. (2017). Development of a spectrophotometric system to detect white striping physiopathy in whole chicken carcasses. *Sensors (Switzerland)*, 17(5). <https://doi.org/10.3390/s17051024>
 - Kuttappan, V. A., Lee, Y. S., Erf, G. F., Meullenet, J.-F. C., McKee, S. R., & Owens, C.M. (2012). Consumer acceptance of visual appearance of broiler breast meat with varying degrees of white striping. *Poultry Science*, 91(5):1240-7. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01947>
 - Wold, J. P., Veiseth-Kent, E., Høst, V., & Løvland, A. (2017). Rapid on-line detection and grading of wooden breast myopathy in chicken filets by near-infrared spectroscopy. *PloS One*, 12(3). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0173384>
 - Wold, J. P., Mage, I., Løvland, A., Sanden, K. W., & Ofstad, R. (2019). Near-infrared spectroscopy detects woody breast syndrome in chicken filets by the markers protein content and degree of water binding. *Poultry Science*, 98(1), 480–490. <https://doi.org/10.3382/ps/pey351>
 - Wold, J. P., & Løvland, A. (2020). NIR Spectroscopic Techniques for Quality and Process Control in the Meat Industry. *Meat and Muscle Biology*, 4(2). <https://doi.org/10.22175/mmb.10020>
 - Yoon, S. C., Bowker, B. C., Zhuang, H., Lawrence, K. C., Heitschmidt, G. W., & Shin, T. S. (2018). Imaging system for sorting poultry meat with wooden breast myopathy (Patent WO/2018/213535).
 - Zomeño, C., Muñoz-Lapeira, M., Brun, A., Jofré, A., & Font-i-Furnols, M. (2024). Computed tomography as a non-invasive tool to characterize and advance on chicken breast myopathies. Libro de resúmenes del XVI European Poultry Conference 2024, Valencia, España. 128.