

## Severidad de miopatías de pechuga y su relación con indicadores de bienestar productivos, fisiológicos y de comportamiento en pollos de engorde

Rebeca Zamora Sanabria<sup>1</sup> ✉  Alma Vásquez Delgado<sup>2</sup> ✉ 

Jorge Elizondo Salazar<sup>3</sup> ✉  Jorge Camacho Sandoval<sup>4</sup> ✉  María del Pilar Castañeda Serrano<sup>2</sup> ✉ 

Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA). Escuela de Zootecnia.  
Universidad de Costa Rica. San Pedro, San José. Costa Rica.

### Severity of breast myopathies and their relationship with productive, physiological and behavioral welfare indicators in broilers

**Abstract.** The aim of the experiment was to evaluate the relationship between different severity degrees of two broiler breast myopathies (wooden breast [WB] and white striping [WS]), and physiological, productive, and behavioral welfare indicators. For this purpose, 570 broilers (Ross 308) were raised for 13 weeks under commercial conditions. From week 7 to week 13, 35 chicken breasts were randomly chosen, and were palpated and classified as soft, intermediate, and firm according to their consistency. From those 35 chickens, 15 sera samples were randomly collected, to obtain heterophil/lymphocyte (H/L) ratio, C-reactive protein (CRP) concentration, and hematological profile. The behaviour of the group was recorded weekly by continuous observation. Live weight, breast weight, hot carcass, and cold carcass weights were recorded. Each chicken breast was classified, as normal, mild, moderate, and severe according to the degree of severity of WB and WS lesions. Processed chicken breasts were palpated and classified as soft, intermediate, and firm. For each one, the shear force and shear energy were measured. Results showed that physiological indicators were not related to the severity of the lesions found in both myopathies. The severity of the lesions was significantly ( $p < 0.01$ ) correlated with age, live weight, and breast weight. Live chicken breast palpation was highly correlated with processed chicken breast palpation ( $p < 0.01$ ); therefore, in vivo palpation can be used as a non-invasive indicator of lesion consistency and severity in both myopathies. The evaluation of others physiological, behavioral, and pain indicators in chickens with WS and WB myopathies is required.

**Key words:** Woody breast, white striping, hematological profile, C reactive protein

**Resumen.** El objetivo de este experimento fue evaluar la relación entre diferentes grados de severidad de las miopatías de pechuga, conocidas como pechuga de madera (PM) y estrías blancas (EB), con indicadores de bienestar fisiológicos, productivos y de comportamiento en pollos de engorde. Un total de 570 pollos de engorde Ross 308 fueron criados bajo condiciones comerciales por 13 semanas. Previo al sacrificio, de la semana 7 a la 13, la pechuga de 35 pollos fue analizada al azar, y de acuerdo con su consistencia, fue clasificada en suave, intermedia y firme. Un total de 15 muestras de sangre de los 35 pollos fue obtenida para determinar la relación heterófilo-linfocito, proteína C reactiva y el perfil hematológico. Se realizó semanalmente la observación del comportamiento del grupo por observación continua. Se registró el peso vivo, el peso de la pechuga, el peso en canal caliente y de la canal fría. Antes del sacrificio, cada pechuga se clasificó según el grado de severidad de lesiones de EB y PM en normales, leves, moderadas y severas; mientras que las pechugas procesadas se palparon y se clasificaron en suave, intermedia y firme. A cada una se le midió la fuerza y la energía de corte. No se encontró una correlación entre los indicadores fisiológicos y la severidad de las lesiones para ambas miopatías. La severidad de las lesiones aumentó y estuvo correlacionada significativamente ( $p < 0.01$ ) con la edad, el peso vivo y el peso de la pechuga. La palpación de la pechuga de los pollos vivos estuvo altamente correlacionada con la palpación de la pechuga procesada ( $p < 0.01$ ). Por tanto, la palpación en vivo puede ser utilizada como un indicador no invasivo de la consistencia y severidad de las lesiones de ambas miopatías. Se requiere evaluar más indicadores fisiológicos, de comportamiento y de dolor en pollos que presenten EB y PM.

**Palabras clave:** pechuga de madera, estrías blancas, perfil hematológico, proteína C reactiva

Recibido: Septiembre 14, 2021. Aceptado: Marzo 26, 2022

<sup>1</sup>Autor para correspondencia: [rebeca.zamora@ucr.ac.cr](mailto:rebeca.zamora@ucr.ac.cr)

<sup>2</sup>Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. Zapotitlán. Ciudad de México. México

<sup>3</sup>Estación Experimental Alfredo Volio Mata. Universidad de Costa Rica. Ochomogo, Cartago. Costa Rica.

<sup>4</sup>Posgrado Regional en Ciencias Veterinarias Tropicales. Universidad Nacional. Heredia. Costa Rica

## Gravidade das miopatias peitorais e sua relação com indicadores de bem-estar produtivo, fisiológico e comportamental em frangos de corte

Resumo. Nesse experimento o objetivo foi avaliar a relação entre diferentes graus de gravidade das miopatias peitorais, conhecidas como peito de madeira (PM) e estrias brancas (EB), com indicadores de bem-estar fisiológico, produtivo e comportamental em frangos de corte. Um total de 570 frangos de corte, Ross 308, foram criados em condições comerciais por 13 semanas. Antes do abate, entre a 7<sup>a</sup> e 13<sup>a</sup> semana, 35 frangos foram escolhidos aleatoriamente e o peito foi palpado e de acordo com sua consistência, os peitos de frango foram classificados em mole, intermediário e firme. Quinze amostras de sangue foram coletadas das 35 aves para obtenção da relação heterófilo-linfócito, proteína C reativa e perfil hematológico. As observações de comportamento dos grupos foram realizadas semanalmente por observação contínua. Peso vivo, peso do peito, peso da carcaça quente e peso da carcaça fria foram registrados. Antes do abate, cada peito foi classificado de acordo com o grau de gravidade das lesões de EB e PM em normal, leve, moderada e grave; os peitos de frango processados foram palpados e classificados em moles, intermediárias e firmes. Cada peito foi avaliado para a força de cisalhamento e a energia gasta para cortar a amostra. Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os indicadores fisiológicos e a gravidade das lesões para ambas as miopatias. A gravidade da lesão aumentou e foi significativamente ( $p < 0.01$ ) correlacionada com a idade, peso vivo e peso do peito. A palpação do peito da ave viva foi altamente correlacionada ( $p < 0.01$ ) com a palpação do peito processado. Assim, a palpação da ave viva pode ser usada como um indicador não invasivo da consistência e gravidade das lesões em ambas as miopatias. Contudo, estudos adicionais em frangos com outros indicadores fisiológicos e comportamentais relacionados com EB e PM são necessários.

Palavras-chave: peito de madeira, estrias brancas, perfil hematológico, proteína C reativa

### Introducción

Las miopatías afectan varios parámetros de la calidad de la carne en pollos de engorde, como el color, la apariencia y la suavidad de la carne cruda y cocida. Las estrias blancas (EB) y la pechuga de madera (PM) son las miopatías más comúnmente reportadas en pollos (Kuttappan et al., 2013a) y causan importantes pérdidas económicas en Brasil, Italia, Finlandia, Estados Unidos y el Reino Unido (Tijare et al., 2016). La presentación de estriaciones blancas paralelas a las fibras musculares son conocidas como EB. Los filetes con textura rígida, crudos o cocidos, con consecuencias negativas en el valor nutricional, apariencia, aceptación visual, en el procesamiento, marinado y tenderización de las pechugas, se conocen como PM (Kuttappan et al., 2013a; Lorenzi et al., 2014).

La selección genética de los últimos 50 años ha resultado en un incremento en la tasa de crecimiento y del rendimiento de la pechuga (Kuttappan et al., 2016). Petracci et al., (2019) reportan un aumento de un 5 % en el tamaño de la pechuga de los pollos de engorde en los últimos 10 años, lo que constituye una quinta parte del peso del ave. Este incremento se ha asociado con la presentación de ambas miopatías (Kuttappan et al., 2013a). Las miopatías de pechuga tienen una etiología compleja, varios factores están involucrados en su progreso, aunque la causa no ha sido todavía completamente identificada, se han señalado factores

de estrés en el retículo sarcoplásmico e hipoxia como los desencadenantes de una cascada de eventos que resultan en el desarrollo de las miopatías (Soglia et al., 2021). Factores de estrés sobre el retículo sarcoplásmico inducen la formación de proteínas disfuncionales que exacerban fenómenos como la deposición de lípidos ectópicos y la alteración de la homeostasis del calcio (Sihvo et al., 2014). Al mismo tiempo el crecimiento hipertrófico de la pechuga, inducido por la selección genética de los pollos para altos rendimientos de pechuga, está asociado a una vascularización reducida que predispone a condiciones de hipoxia (MacRae et al., 2006). La hipoxia a su vez desencadena otra secuencia de eventos como flebitis, estrés oxidativo y alteración de la homeostasis del calcio, resultando en modificaciones del metabolismo energético, inflamación, degeneración y regeneración del músculo (Soglia et al., 2021).

Pocos estudios investigan la relación entre las miopatías y el bienestar de los pollos de engorde. La ausencia de biomarcadores que ayuden en la identificación de las miopatías en aves vivas también ha sido identificada como un importante desafío en la investigación de las miopatías (Tijare et al., 2016). Los indicadores para evaluar el bienestar de las aves se dividen en dos grupos: 1) indicadores basados en el animal, y 2) indicadores basados en recursos o en

resultados (Manteca, 2016). Dentro de los indicadores basados en el animal se encuentran los fisiológicos, productivos y de comportamiento. Algunos indicadores fisiológicos como la expresión de proteínas de la fase aguda de la inflamación se han sugerido como biomarcadores de bienestar animal (Marques, 2016). Estas proteínas se han observado en diferentes niveles de estrés e inflamación en animales domésticos (Eckersall y Bell, 2020). Otros biomarcadores como la relación heterófilo-linfocito (H/L), se han utilizado como indicadores de bienestar en pollos de engorde (Davis et al., 2008). La H/L se considera un indicador de estrés crónico, debido a que elevados niveles de corticosterona en aves, estimulan la producción de heterófilos inmaduros de la médula ósea a la sangre periférica, y disminuyen la concentración linfocitos en sangre (Shini et al., 2008,

Cotter, 2015). El comportamiento de las aves también ha sido considerado como un indicador de bienestar por varios autores (Costa et al., 2012, Dawkins, 1999). El comportamiento de locomoción de los pollos de engorde es modificado por el tamaño de la pechuga, ya que los pollos modernos poseen pechugas más grandes que representan el 20 % del peso corporal, comparada con el 11.6 % de los pollos de líneas genéticas de crecimiento lento (Bokkers, 2004). La presencia de miopatías se relaciona con la presentación de cojeras y con problemas para caminar en pollos de engorde (Norrington et al., 2016).

El objetivo de este experimento fue evaluar la relación entre diferentes grados de severidad de PM y de EB con indicadores de bienestar fisiológicos, productivos y de comportamiento.

### Materiales y Métodos

El experimento se realizó en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPAV) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Nacional Autónoma de México, de abril a junio del 2018.

Se utilizaron 570 pollos de engorde criados desde un día hasta las 13 semanas de edad, bajo condiciones similares a las comerciales, en un corral de 5.0 m de ancho x 6.5 m de largo (17.5 pollos por m<sup>2</sup>). Los pollos se alimentaron de acuerdo con los requerimientos de la casa genética para el pollo de engorde Ross 308 y se procesaron de acuerdo con los protocolos de la planta de proceso experimental y del comité de cuidado y uso de los animales del CEIEPAV. Desde los 7 hasta los 13 días de edad, se seleccionaron semanalmente al azar 35 pollos a los que se les realizó palpación de la pechuga en vivo y se clasificó la consistencia de la pechuga en: suave (1), intermedia (2) y firme (3).

Previo al sacrificio, antes del ayuno y traslado a la planta de proceso, 15 muestras de sangre se tomaron al azar de los 35 pollos evaluados, mediante punción en la vena alar. Cada muestra de sangre fue dividida en dos partes, una parte se colocó en microtubos tipo microtainer® de 250-500 microlitros con EDTA como anticoagulante y la otra en tubos tipo Eppendorf® de 1.5 cc para posterior centrifugación y obtención de suero. Las muestras se trasladaron a los laboratorios de bioquímica y hematología del departamento de patología clínica de la FMVZ. Para la obtención de la concentración sérica de proteína C reactiva (mg/ml) se utilizó un kit de la marca DiAgam CRP XL (Ghislenghien, Belgium). Los hemogramas se realizaron por el método de conteo manual mediante

técnicas manuales estándar (Harvey, 2001). La relación heterófilo-linfocito se obtuvo dividiendo el número de heterófilos entre el número de linfocitos (Gross y Siegel, 1983).

Cada semana, antes del sacrificio se registró el peso vivo de cada uno de los 35 pollos seleccionados. Los pollos se insensibilizaron por el método eléctrico, se sacrificaron y desangraron manualmente, se escaldaron a 53 °C y se desplumaron siguiendo la línea automática del proceso. Las canales se lavaron y evisceraron en forma manual. Posteriormente se enfriaron por 90 min a 1 °C en un tanque de inmersión con agitación manual a intervalos regulares y se almacenaron a 4 °C, 24 horas, hasta el deshuese. Se registró el peso de las canales calientes y frías. Las pechugas se deshuesaron, se pesaron, se palparon y se clasificaron en 1) suave: para pechugas flexibles o con ausencia de endurecimiento; 2) intermedia: cuando presentaron dureza evidente en la región craneal y 3) severas: para pechugas de dureza extrema a lo largo de todo el músculo con presencia de abultamientos en la región caudal (Kuttappan et al., 2012, Tijare et al., 2016). Las pechugas sin estriaciones aparentes se clasificaron como normales, se clasificaron como leves cuando presentaron estriaciones menores a 1 mm, moderadas cuando presentaron estriaciones entre 1 y 3 mm de grosor y severas cuando mostraron estriaciones mayores a 3 mm (Kuttappan et al., 2012, Tijare et al., 2016).

La identificación de las lesiones de pechuga de madera se realizó mediante evaluación táctil y se clasificaron en 1) normal: para pechugas flexibles, 2) leves: para pechugas firmes en la parte craneal y

flexibles en la región caudal, 3) moderadas: para pechugas firmes en la parte craneal y algún grado de dureza caudal y 4) severas: para pechugas con algún grado de dureza a lo largo de toda la pechuga (Tijare et al., 2016).

Posteriormente los filetes de pechuga se colocaron en charolas de aluminio, se cubrieron con papel del mismo material y se cocinaron en un horno de convección marca Coriat, modelo HC-35-C (Ciudad de México, México) por 30 min hasta alcanzar una temperatura interna de 76 °C (Cavitt et al., 2004). Luego se dejaron enfriar a temperatura ambiente (24 °C), se envolvieron en papel aluminio y se colocaron durante 24 horas en una cámara fría a 4 °C. Posteriormente los filetes de pechuga se sometieron a fuerza de compresión (newtons, N) y a la prueba de energía total (newtons/m, N\*mm) (Cavitt et al., 2004, Lee et al., 2008), utilizando un texturómetro marca Stable Micro System, modelo TA-HD plus (Surrey, Reino Unido). Se empleó la técnica conocida como MORS (Meullenet® Owens Razor Shear) (Cavitt et al., 2004) para medir la suavidad de los filetes sin marinar. Se realizaron cuatro cortes perpendiculares al eje longitudinal de las fibras musculares con una navaja de 0.5 mm de espesor, 8.9 mm de ancho y 30 mm de alto, y la profundidad del corte fue de 20 mm (Lee et al., 2008).

Desde 7 hasta 12 semanas de edad, se observó el comportamiento de grupo de los pollos mediante observaciones continuas. El comportamiento se registró mediante fotos y videos con una cámara (Canon Power Shot, modelo Sx 420 IS, Amstelveen, Países Bajos). Los cambios en el comportamiento de los pollos se registraron por períodos de 10 minutos, cuatro veces por semana. Se otorgó un período de acostumbamiento de 5 minutos, de los pollos al observador, antes de cada observación. Los comportamientos se agruparon en 5 clasificaciones: activos, confortables, comiendo, bebiendo y levantados. Comportamientos de baño de arena,

forrajear y batir las alas se clasificaron como activos. Acicalarse, dormir y acostarse de lado se incluyeron en la categoría de confortables. Al inicio de cada observación se registró la temperatura ambiental, la humedad relativa y la iluminación mediante un medidor (Spercientific, modelo 850070, Arizona, Estados Unidos de América). Cada grupo de comportamientos se reportó como porcentaje del total de observaciones de acuerdo con el método reportado por Shields et al., (2005).

#### Análisis estadístico

Todos los datos se analizaron mediante la prueba de normalidad de Shapiro- Wilk y mediante la prueba de residuos estandarizados. Se realizó un análisis de correlación de los datos y se utilizó la prueba de Anova de un factor (Welch's) para comparar los indicadores productivos y fisiológicos de acuerdo con los grados de lesión para ambas miopatías. Se aplicó la prueba de equidad de varianzas de Levene's y la prueba de Games-Howell para diferencias entre medias con varianzas desiguales y tamaños de muestra desiguales. Se realizó un análisis de regresión logística multinomial para conocer el grado de asociación de los indicadores con la presentación de los grados de lesión para EB y PM. Se utilizó la clasificación de normales como la categoría de referencia. Para los datos de palpación de la pechuga en vivo y palpación de la pechuga en canal se aplicó la prueba de independencia de Chi-cuadrado y la prueba de V de Cramer para conocer el grado de asociación entre los dos tipos de palpación. Se realizó la prueba de Anova de un factor para comparar la fuerza y energía de corte con los diferentes grados de consistencia a la palpación en vivo. Se realizó análisis de regresión logística multinomial para conocer el grado de asociación entre la palpación en vivo y en canal con el peso vivo. Los datos de comportamiento se analizaron en forma descriptiva. Para todos los análisis se utilizó el programa estadístico The jamovi project (2022) Jamovi (Version 2.25).

#### Resultados y Discusión

En el cuadro 1 se presenta el porcentaje de lesiones observadas de acuerdo con el grado de severidad para EB y PM. Las lesiones por EB presentaron un mayor porcentaje de lesiones leves y menor porcentaje de lesiones severas ( $p < 0.01$ ). Las lesiones por PM presentaron un mayor porcentaje de lesiones normales y menor porcentaje de lesiones severas. Algunos pollos presentaron lesiones de ambos tipos de miopatías, otros solo de un tipo de miopatía; resultados similares fueron reportados por Kuttappan

et al.(2012) y Tijare et al.(2016). Se considera que ambas miopatías pueden ocurrir en forma conjunta, que forman parte del mismo espectro de enfermedades y que juntas representan la mayor parte de lesiones encontradas en las pechugas de los pollos de engorde (Griffin et al., 2018, Lake et al., 2021). Petracci et al., (2019) reportan que las EB son las miopatías más reportadas en pechugas de pollo en Italia, Francia, España y Brasil.

La presencia de lesiones leves y moderadas también fue mayor que las severas en ambas miopatías en estudios previos (Kuttappan et al., 2013a, Tijare et al., 2016, Kuttappan et al., 2016, Alnahhas et al., 2016). La presentación de EB está determinada por la genética, el manejo y el medio ambiente de las aves (Kuttappan et al., 2013a). Pollos de líneas genéticas de rápido crecimiento, con mayor rendimiento de pechuga muestran mayor incidencia de EB comparada con pollos con rendimiento de pechuga estándar (Lorenzi et al., 2014, Soglia et al., 2021). La presentación de lesiones severas de EB en pollos Ross 308 fue mayor que en pollos Cobb 500 criados bajo condiciones comerciales (Lorenzi et al., 2014), lo que indica un

efecto de la línea genética de los pollos. Lake et al., (2021) estimaron una heredabilidad de 0.5 para ambas miopatías y una alta correlación entre ellas (0.88). Los factores ambientales y de manejo, como la calidad de la cama (Barbut, 2019) contribuyen en más del 65 % de la variación en la presentación de PM en pollos de engorde (Bailey et al., 2020). La tasa de crecimiento fue asociada con un incremento en la presentación y en la severidad de las lesiones de PM y EB (Kuttappan et al., 2012, Griffin et al., 2018). El crecimiento acelerado del músculo reduce el espacio intersticial entre el músculo pectoral mayor y el epimisis, limitando el movimiento de la fascia y provocando daño muscular e hipoxia (Griffin et al., 2018).

Cuadro 1. Porcentaje de lesiones observadas de acuerdo con el grado de severidad para estrías blancas y pechuga de madera.

Severidad de la lesión	Estrías blancas n=315	Pechuga de madera n=315	Valor de p
Normales	29.20 <sup>a</sup>	44.13 <sup>a</sup>	0.0001
Leves	50.79 <sup>b</sup>	30.16 <sup>b</sup>	0.0001
Moderadas	18.09 <sup>c</sup>	16.51 <sup>c</sup>	0.0025
Severas	1.92 <sup>d</sup>	9.23 <sup>d</sup>	0.0001

a, b, c, d Letras diferentes indican diferencias significativas  $p < 0,01$  entre la severidad de las lesiones en cada miopatía.

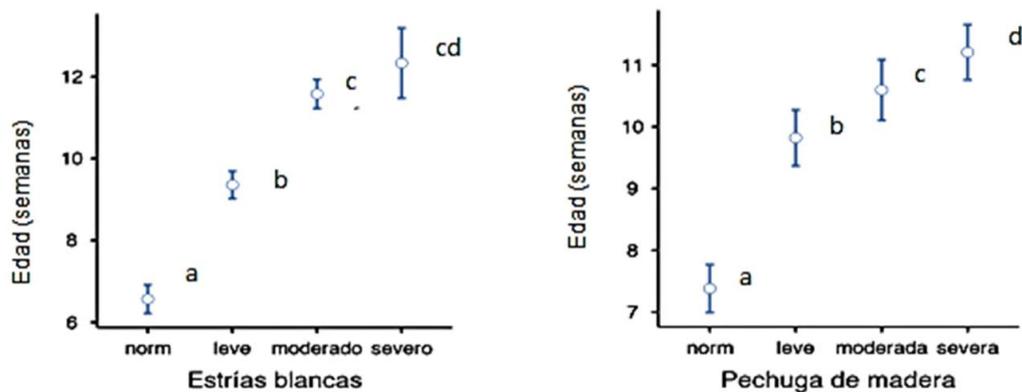
La mayoría de los indicadores productivos en este estudio presentaron correlaciones altas entre ellos. La fuerza de corte y la energía de corte no mostraron correlación con respecto a los demás indicadores productivos y presentaron alta correlación entre sí ( $r^2 = 0.86$ ). Ambos parámetros son utilizados para medir la textura de las pechugas y predecir los atributos sensoriales, no los productivos (Chatterjee et al., 2016). La edad mostró correlación alta con la proteína C reactiva ( $r^2 = 0.60$ ) y baja con la relación heterófilo-linfocito ( $r^2 = -0.20$ ) y con los eosinófilos ( $r^2 = 0.23$ ). Crawford et al., (2006), Sproston y Ashworth (2018) indican que la proteína C reactiva presenta diferencias en sus concentraciones normales por efecto de la edad, sexo y del grupo étnico en humanos. La proteína C reactiva mostró correlaciones altas con los pesos vivo ( $r^2 = 0.50$ ), en canal ( $r^2 = 0.46$ ) y de pechuga ( $r^2 = 0.53$ ). La proteína C reactiva se considera un marcador clínico no específico de inflamación en pollos (Marques et al., 2017) y las miopatías como PM y EB pueden causar inflamación de las miofibrillas en diferentes grados (Sihvo et al., 2014). La presentación de EB y PM también se ha relacionado con el peso corporal y el tamaño de la pechuga (Kuttappan et al., 2016, Griffin et al., 2018) de esta manera la presencia de pechugas más grandes con más lesiones se podría relacionar con la concentración de proteína C reactiva pero sin que este hallazgo se pueda mencionar como una posible causa.

Conforme aumentó la edad de los pollos fue observado un aumento significativo ( $p < 0.01$ ) en la severidad de las lesiones, y diferencias significativas entre las lesiones normales, leves y moderadas para las estrías blancas y entre todos los grados de lesión para la pechuga de madera (figura 1). Esto indica que una mayor edad aumenta la presentación de lesiones de moderadas a severas. Kuttappan et al., (2016) reportaron lesiones severas de EB y PM asociadas a pollos de mayor de edad y mayor cantidad de lesiones leves y moderadas en pollos de 9 semanas de edad, con pesos corporales mayores, comparados con pollos de 6 semanas de edad. Al aumentar el tamaño del músculo con la edad, las estriaciones por EB se observan más cercanas a la superficie de la pechuga formando parte de los alrededores del epimisis según lo observado por Chatterjee et al., (2016). Soglia et al., (2021) mencionan que en estadios iniciales de ambas miopatías se ven afectadas las áreas superficiales y la porción craneal del músculo y que en aves de mayor edad se ha observado que todo el músculo está involucrado.

El aumento en el peso vivo y en el peso de pechuga también aumentó significativamente ( $p < 0.01$ ) la severidad de las lesiones. Resultados similares fueron obtenidos por Mudalal et al., (2015), Griffin et al., (2018) quienes también observaron que pechugas de mayor tamaño presentaron mayor cantidad y severidad de

lesiones por EB y PM lo que soporta la hipótesis de que el proceso de selección para un crecimiento más

rápido y mayor rendimiento de pechuga contribuyen a la presentación de estas miopatías.

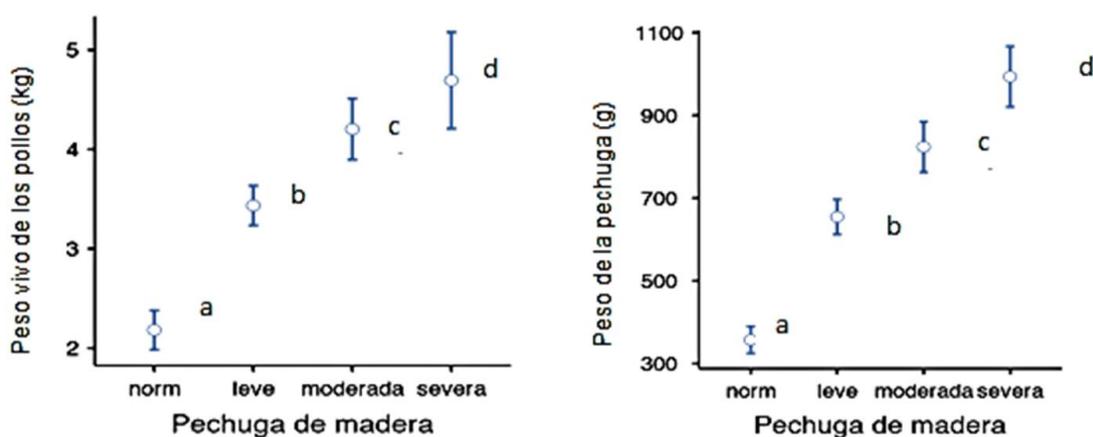


a, b, c, d Letras diferentes indican diferencias significativas,  $p < 0.01$ .

Figura 1. Promedio de lesiones por edad en semanas de acuerdo con el grado de severidad de las estrías blancas y pechuga de madera observadas (normal, leve, moderada y severa) en pollo de engorde, las barras de error muestran intervalo de 95 % de confianza.

Diferencias significativas fueron observadas entre todos los grados de severidad de las lesiones para PM

(figura 2) de acuerdo con el peso vivo de los pollos y el peso de la pechuga.



a, b, c, d Letras diferentes indican diferencias significativas,  $p < 0.01$ .

Figura 2. Promedio de peso vivo y peso de pechuga de acuerdo con el grado de severidad de las lesiones observadas por pechuga de madera (normal, leve, moderada y severa) en pollo de engorde. Las barras de error muestran intervalos 95 % de confianza.

En el caso de las EB se observaron diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) entre la mayor parte de los grados de lesión de acuerdo con la edad, peso vivo, peso de la canal en caliente, peso de la canal fría y en el peso de pechuga. Sin embargo; no se observaron diferencias significativas entre las lesiones moderadas y severas (cuadro 2).

La tasa de crecimiento rápido, asociada al aumento en las demandas metabólicas del músculo y el incremento en el rendimiento de la pechuga y de la canal se han relacionado con un incremento en la aparición de lesiones de PM (Mudalal et al., 2015,

Petracci et al., 2019). Se ha encontrado una relación directa entre el crecimiento acelerado y la disminución en la densidad capilar, poco crecimiento del tejido conectivo y gran estrés metabólico (MacRae et al., 2006). El crecimiento rápido provoca hipertrofia de las fibras musculares asociado con poca capilarización y un inadecuado suministro de oxígeno y nutrientes, provocando estrés metabólico (MacRae et al., 2006). El rango de crecimiento, el repentino aumento de actividad de los pollos y número de células madre embrionarias también se han asociado con la presentación y severidad de ambas miopatías (Barbut, 2019).

Lesiones severas de EB fueron asociadas, por otros autores, con filetes de pechuga más gruesos, más pesados y con altas tasas de crecimiento corporal en pollos bajo condiciones comerciales (Kuttappan et al., 2012). Diversos estudios han reportado una asociación entre la profundidad del músculo pectoral mayor y la presentación de lesiones de EB y PM (Kuttappan et al., 2013a, Kuttappan et al., 2013b, Alnahhas et al., 2016, Griffin et al., 2018, Petracci et al., 2019). El crecimiento acelerado del músculo pectoral menor también resulta en un aumento de la presión intramuscular, en isquemia, hipoxia y necrosis (Griffin et al., 2018). La selección genética intensiva para obtener un rápido crecimiento, mayor rendimiento de canal y de pechuga se puede acompañar de una disminución en la llegada

que capilares sanguíneos, resultado en la aparición de miopatías (Kuttappan et al., 2013b).

La severidad de las lesiones de EB y PM también se ha asociado con la parvada y con factores nutricionales como el nivel de proteína en las dietas de la fase de mayor crecimiento (Barbut, 2019). Pollos alimentados con dietas altas en grasa también mostraron un aumento en la severidad de las lesiones de EB (Kuttappan et al., 2013a). Wang et al., (2021) mencionan que los procesos inflamatorios y de estrés oxidativo del intestino pueden provocar una inflamación sistémica afectando la pechuga y sugieren que el uso de vitamina E y ácido alfa lipoico, combinados en la dieta, contribuyen al control de los procesos inflamatorios intestinales y al control de PM.

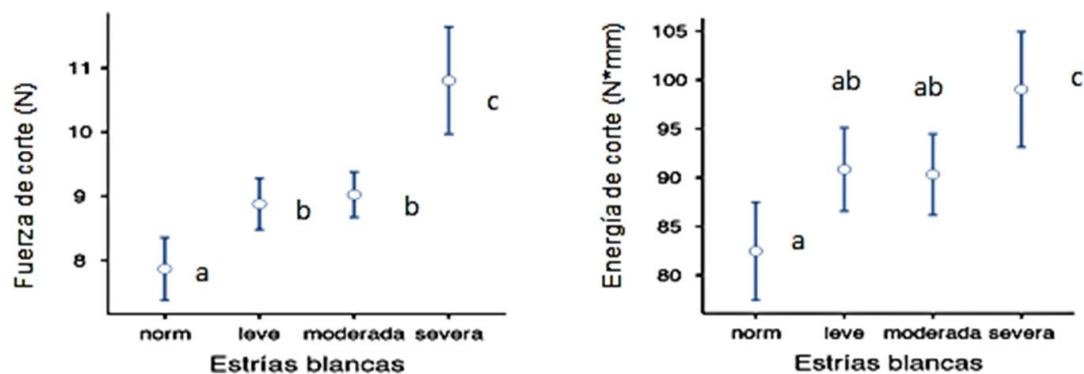
Cuadro 2. Descripción de los datos para los indicadores productivos analizados por grado de severidad para estrías blancas.

Indicador	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
<b>Edad, semanas</b>					
Normales	6.56 <sup>a</sup>	6.00	1.68	5.00	12.00
Leves	9.36 <sup>b</sup>	9.00	2.14	6.00	13.00
Moderadas	11.58 <sup>c</sup>	12.00	1.34	8.00	13.00
Severas	12.33 <sup>cd</sup>	12.50	0.82	11.00	13.00
<b>Peso vivo, kg</b>					
Normales	1.90 <sup>a</sup>	1.68	1.09	0.82	9.23
Leves	3.24 <sup>b</sup>	3.13	1.11	1.17	6.20
Moderadas	4.49 <sup>c</sup>	4.37	1.16	0.58	6.86
Severas	4.97 <sup>cd</sup>	5.07	0.96	3.74	6.24
<b>Peso canal caliente, kg</b>					
Normales	1.29 <sup>a</sup>	1.07	0.61	0.54	3.40
Leves	2.43 <sup>b</sup>	2.34	0.87	0.80	4.81
Moderadas	3.41 <sup>c</sup>	3.21	0.85	1.47	5.30
Severas	3.77 <sup>cd</sup>	3.90	0.72	2.71	4.70
<b>Peso canal fría, kg</b>					
Normales	1.32 <sup>a</sup>	1.07	0.64	0.55	3.58
Leves	2.44 <sup>b</sup>	2.28	0.89	0.80	4.84
Moderadas	3.53 <sup>c</sup>	3.47	0.80	2.00	5.35
Severas	3.86 <sup>cd</sup>	4.03	0.75	2.75	4.80
<b>Peso pechuga, g</b>					
Normales	302.00 <sup>a</sup>	255.00	152.00	102.00	746.00
Leves	604.00 <sup>b</sup>	573.00	229.00	172.00	1244.00
Moderadas	926.00 <sup>c</sup>	884.00	200.00	526.00	1412.00
Severas	1055.00 <sup>cd</sup>	1047.00	173.00	884.00	1344.00

a, b, c, d Letras diferentes indican diferencias significativas entre las filas,  $p < 0.01$ .

La fuerza de corte ( $p < 0.01$ ) y la energía de corte fueron significativas ( $p < 0.01$ ) para las EB (figura 3), pero no para la PM. Se observaron diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) en la fuerza y energía de corte para EB entre las pechugas normales y leves y entre las moderadas y severas. No se observaron diferencias significativas entre las pechugas leves y moderadas. Autores como Tijare et al. (2016) tampoco encontraron

diferencias en la fuerza y energía de corte de filetes no marinados con PM ni con lesiones por EB. Chatterjee et al. (2016), Bowker et al. (2019), Tasoniero et al. (2020) observaron cambios en la textura en pechugas con lesiones de PM. La fuerza y la energía de corte fueron mayores para las pechugas con lesiones severas de EB, hallazgos similares fueron obtenidos por Mudalal et al., (2015).



a, b, c, d Letras diferentes indican diferencias significativas entre las filas,  $p < 0.01$ .

Figura 3. Promedio de la fuerza de corte (N) y la energía total de corte (N\*mm) y de acuerdo con el grado de severidad de las estrías blancas observadas (normal, leve, moderada y severa) en pollo de engorde, las barras de error muestran intervalos de confianza 95 %.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los indicadores fisiológicos: perfil hematológico, relación H/L y la concentración de proteína C reactiva (cuadro 3) y la severidad de las

lesiones encontradas para ambas miopatías. Kuttapan et al., (2013a) tampoco encontraron diferencias hematológicas entre pollos con lesiones y sin lesiones de PM y miopatía craneal dorsal (Amaral et al., 2017).

Cuadro 3. Descripción de los datos para los indicadores fisiológicos analizados por grado de severidad para pechuga de madera.

Indicador	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Valor de p
Proteína C reactiva, mg/L						0.2576
Normal	9.01	7.50	11.20	0.62	62.00	
Leve	15.62	10.25	17.53	0.62	72.20	
Moderadas	14.74	11.65	12.93	3.75	55.44	
Severas	18.43	9.05	22.45	5.25	73.50	
Relación heterófilo-linfocito						0.9483
Normal	2.04	0.80	3.34	0.30	16.60	
Leve	1.66	0.60	5.09	0.20	33.50	
Moderadas	2.06	0.80	5.45	0.30	24.50	
Severas	1.24	0.80	1.16	0.40	3.80	
Leucocitos x 109/L						0.2697
Normal	11.88	8.90	8.08	5.50	41.40	
Leve	9.27	8.50	3.26	4.80	18.70	
Moderadas	9.62	7.00	6.63	5.70	34.50	
Severas	10.89	9.70	4.06	5.70	20.20	
Eosinófilos x 109/L						0.2582
Normal	0.49	0.40	0.38	0.00	1.30	
Leve	0.41	0.40	0.26	0.10	1.40	
Moderadas	0.49	0.50	0.37	0.00	1.50	
Severas	0.63	0.60	0.36	0.00	1.20	
Basófilos x 109/L						0.5015
Normal	0.65	0.60	0.46	0.00	2.00	
Leve	0.56	0.50	0.35	0.00	1.70	
Moderadas	0.51	0.50	0.37	0.10	1.40	
Severas	0.47	0.35	0.33	0.20	1.10	
Monocitos x 109/L						0.6099
Normal	1.02	0.60	1.22	0.10	1.30	
Leve	0.69	0.50	0.67	0.10	1.40	
Moderadas	1.02	0.50	1.66	0.10	1.50	
Severas	0.99	0.65	0.81	0.10	1.20	

Sin embargo; algunos autores como Kuttappan et al. (2013b) reportan que un aumento en el conteo de leucocitos puede estar asociado con estrés y condiciones inflamatorias. Otros autores como Huang y Ahn, (2018) han reportado que la súper familia de las inmunoglobulinas puede ser sobre expresada en anormalidades musculares, indicando presencia de tejido inflamado.

Incrementos en la relación H/L reflejan la respuesta del sistema inmune al estrés crónico asociado a un aumento sostenido de las concentraciones de corticosterona en sangre. Pero no todos los estresores aumentan este parámetro, tal como se observó en este experimento. Estresores como el calor, el frío, deficiencias nutricionales o altas densidades incrementan en forma evidente la relación H/L (Scanes, 2016). A pesar de que la proteína C reactiva (CRP) es parte de la respuesta no específica de la fase aguda de la inflamación y se considera un marcador

muy sensible de daño tisular (Sohail et al., 2010), no fue posible encontrar diferencias significativas entre las concentraciones de CRP y el grado de severidad para ambas miopatías. Por lo que se recomienda realizar futuros análisis con mayor número de muestras para este marcador fisiológico.

El modelo logístico final obtenido en este estudio mostró que el peso vivo y el peso de pechuga están significativamente ( $p < 0.01$ ) asociados con la severidad de las lesiones (leve, moderada y severa) para ambas miopatías como muestra el cuadro 4. Esto indica que conforme aumenta el peso vivo y el peso de las pechugas en una unidad (1 kg) para ambas miopatías la probabilidad de que ocurran lesiones más severas aumenta. El riesgo de ocurrencia de lesiones de EB y PM está asociado con mayores pesos corporales y mayor tamaño de las pechugas tal como lo reportan Kuttappan et al. (2013b).

Cuadro 4. Odds ratio, intervalo de confianza 95% y valor de P para peso vivo (kg) y peso de pechuga (kg) según el grado de severidad para estrías blancas y pechuga de madera.

	Odds ratio	95% IC	Valor de p	Odds ratio	95% IC	Valor de p
	Estrías blancas			Pechuga de madera		
Peso vivo, kg			0.0000			0.0001
Leve	3.6869	0.03-0.15	0.0000	2.8587	2.13-3.83	0.0001
Moderada	8.5309	2.62-5.18	0.0000	4.9160	3.37-7.16	0.0001
Severa	11.0903	5.39-22.82	0.0000	6.6649	4.25-10.44	0.0001
Peso de pechuga, kg			0.0000			0.0001
Leve	3300	442.2-24626.5	0.0000	1194.55	201.39-7085.34	0.0001
Moderada	$2.3 \times 10^{-6}$	$137991-3.9 \times 10^7$	0.0000	40420.55	3910.82-417768.70-	0.0001
Severa	$4.13 \times 10^7$	$306502-5.5 \times 10^9$	0.0000	$44 \times 10^{-6}$	$73213.00-2.85 \times 10^6$	0.0001

De acuerdo con la prueba V de Cramer, la palpación de la pechuga realizada a los pollos en vivo estuvo altamente correlacionada ( $r^2 = 0.8667$ ) con la consistencia de las pechugas procesadas. De Almeida-Mallmann (2019) observaron resultados similares en PM a los 26, 33, 40 y 54 días de edad. No se observaron diferencias significativas entre los diferentes grados de dureza de las pechugas a la palpación (0-3) y la fuerza de corte ( $p > 0.05$ ) y la energía de corte ( $p > 0.05$ ).

El peso vivo de los pollos se correlacionó significativamente ( $p < 0.01$ ) con la consistencia más firme detectada durante la palpación de las pechugas en vivo y en canal (cuadro 5), tal como lo mencionan Mudalal et al. (2015).

Conforme aumentó el peso vivo hubo una mayor probabilidad de obtener pechugas más consistentes o duras (grado 3) en los dos tipos de palpación en vivo y procesada. Estos resultados sugieren que la palpación

en vivo de las pechugas de los pollos puede ser utilizada como un indicador de la dureza y mayor consistencia de las pechugas procesadas y como un método no invasivo para el diagnóstico de lesiones severas en ambas miopatías.

Los cambios en el comportamiento de los pollos pueden ser considerados como un indicador consistente de su estado sanitario (Bozakova et al., 2007). Las miopatías pueden afectar el comportamiento de los pollos, algunos autores han observado que pollos con PM se mueven menos y presentan más problemas para caminar que pollos sin PM (Norrington et al., 2018). Pollos con distrofia muscular mostraron un mayor número de veces el comportamiento de echarse y un menor número de veces comiendo, caminando o realizando baño de arena comparado con los controles en un estudio realizado por Mellor (2017).

Cuadro 5. Odds ratio, intervalo de confianza 95% y valor de P para la palpación de pechuga en vivo y el peso vivo.

Palpación pechuga en vivo			Palpación pechuga en canal				
	Odds ratio	95% IC	Valor de p		Odds ratio	95% IC	Valor de p
<b>Consistencia</b>							
1	1.5619	0.7863-3.1023	0.2029	1	1.4309	0.7842-2.6109	0.2429
2	1.9957	0.9822-4.0550	0.0561	2	1.6913	0.9074-3.1523	0.0981
3	4.2766	1.9047-9.6023	0.0004	3	3.8552	1.7944-8.2830	0.0005

En este trabajo la densidad no se ajustó luego que los pollos fueron sacrificados, por lo que se muestra un análisis descriptivo (figura 4). Los pollos mostraron mayor cantidad de comportamientos de comodidad (acicalarse, dormir y acostarse de lado) durante todas las semanas de observación, posiblemente debido a que no se ajustó el espacio a la cantidad de pollos por semana. Yanai et al. (2018) observaron que pollos alojados en altas densidades (20 pollos por metro cuadrado) reducen la expresión de los comportamientos de comodidad.

Comer y beber también fueron comportamientos frecuentemente observados y estuvieron correlacionados con la temperatura ( $r^2 = 0.67$ ) y humedad relativa ambiental ( $r^2 = 0.52$ ). En días más calientes los pollos visitaron más al bebedero. Branco et al. (2021) observaron secuencias de comportamiento que incluían permanecer echados más tiempo, beber y acostarse de lado en pollos bajo estrés calórico. Los pollos permanecieron poco tiempo levantados durante todo el experimento, sin embargo, no fue posible relacionar este comportamiento con la presencia de miopatías. Lourenço da Silva et al. (2021) observaron que el comportamiento de permanecer echados fue el

más frecuente en pollos de engorde sanos, sin estrés de calor y sin enriquecimiento ambiental. La conformación corporal de los pollos modernos puede explicar también el bajo nivel de actividad de los pollos, debido a que el crecimiento rápido de la pechuga mueve el centro de gravedad hacia delante y el tamaño relativamente corto de las patas, en relación con el peso y tamaño del cuerpo, dificulta el movimiento de las aves (Gentle, 2011).

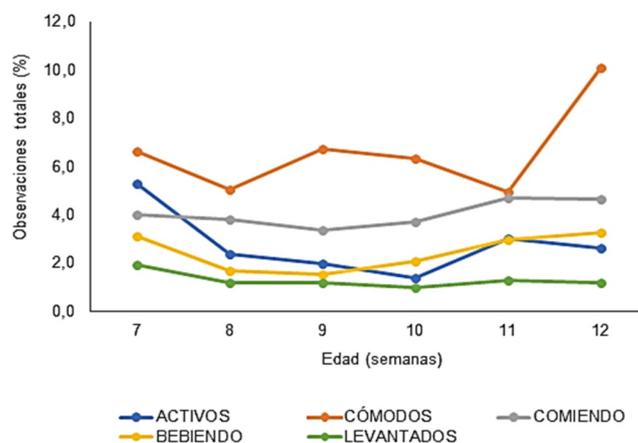


Figura 4. Descripción del comportamiento de los pollos por observación continua.

### Conclusiones

Los indicadores fisiológicos y de comportamiento no tuvieron relación con la presentación y la severidad de las lesiones encontradas para ambas miopatías. La palpación de la pechuga de los pollos vivos estuvo altamente correlacionada con la palpación de la pechuga procesada y se sugiere como un indicador no invasivo de la consistencia y severidad de las lesiones

de ambas miopatías. Los indicadores productivos y la edad estuvieron relacionados con la severidad de las lesiones. En estudios futuros, sería interesante evaluar otros indicadores fisiológicos y de comportamiento, e indicadores de dolor y su relación con la presentación y severidad de miopatías en pollos de engorde.

### Agradecimientos

Este trabajo se realizó en una pasantía de investigación en el CEIEPAV de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, con una beca de la Red de Macrouiversidades de América Latina y el Caribe de la primera autora. Los autores agradecen a los doctores Jorge Iriarte, Diana García

Montaño, Osiris Pérez Segura, Lizbeth Olvera García, Luz María Gómez Juárez, Aldo Hernández Salgado, José Gerardo Cervera Archundia, Laura Sánchez Hernández y a los empleados y cuidadores del CEIEPAV por facilitar el acceso, la toma de muestras y el cuidado de los animales.

### Conflicto de intereses

Los autores, Rebeca Zamora, Alma Vásquez, Jorge Camacho, Jorge Elizondo y María del Pilar Castañeda, declaramos haber cumplido con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en el manuscrito; que no hay conflictos de

interés de ningún tipo, y que todas las fuentes financieras se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. Asimismo, están de acuerdo con la versión editada final del documento.

## Contribución de cada autor

La declaración de la contribución de cada autor al manuscrito fue la siguiente: R.Z.S: realización de las pruebas, colecta de datos, análisis y redacción. A.V.D: realización de las pruebas, colecta de datos. J.C.S:

análisis de datos, revisión del manuscrito. M.P.C.S.: redacción y revisión del manuscrito. J.E.S.: redacción y revisión del manuscrito.

## Literatura Citada

- Alnahhas, N., C. Berri, M. Chabault, P. Chartrin, M. Boulay, M. C. Bourin, and E. le Bihan Duval. 2016. Genetic parameters of white striping in relation to body weight, carcass composition, and meat quality traits in two broiler lines divergently selected for the ultimate pH of the pectoralis major muscle. *BMC Genetics* 17 (1).  
<https://doi.org/10.1186/S12863-016-0369-2>.
- Amaral, P., C. Zimmermann, L. Santos L, M. Noro, M. Prá, and F. Pilotto. 2017. Evaluation of physiological parameters of broilers with dorsal cranial myopathy. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 2017 Mar;19(1):69–74.  
<https://doi.org/10.1590/1806-9061-2016-0377>
- Bailey, R.A., K.A. Watson, S.F. Bilgili, and S. Avendano. 2015. The genetic basis of pectoralis major myopathies in modern broiler chicken lines. *Poultry Science* 94 (12): 2870–79.  
<https://doi.org/10.3382/PS/PEV304>
- 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>
- Bokkers, E.A.M. 2004. Behavioural motivations and abilities in broilers. Ph.D Thesis. University of Wageningen. Wageningen. Netherlands.  
<https://edepot.wur.nl/19264>
- Bowker, B., and H. Zhuang. 2019. Detection of razor shear force differences in broiler breast meat due to the woody breast condition depends on measurement technique and meat state. *Poultry Science* 98(11):6170–6176.  
<https://doi.org/10.3382/ps/pez334>
- Bozakova, N., K. Stoyanchev, D. Girginov, and T. Stoyanchev 2007. Ethological study of broiler chickens after induction and treatment of muscular dystrophy. *Trakia Journal Science* 5 (3):5.  
[http://tru.uni-sz.bg/tsj/Vol5N3-4\\_2007/bozakova\\_et\\_al1.pdf](http://tru.uni-sz.bg/tsj/Vol5N3-4_2007/bozakova_et_al1.pdf)
- Branco, T., D. J De Moura, I. de Alencar Nääs, N. Duarte, S. Lima, D.R Klein, S. Robson, and M. Oliveira. 2021. The sequential behavior pattern analysis of broiler chickens exposed to heat stress. *AgriEngineering* 2021, Vol. 3, Pages 447-457 3(3):447–457.
- Cavitt, L.C., G. W. Youm, J. F. Meullenet, C. M. Owens, Owens, and R. Xiong. 2004. Prediction of poultry meat tenderness using razor blade shear, Allo-Kramer shear, and sarcomere length. *Journal of Food Science* 69 (1): SNQ11–15.  
<https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2004.TB17879.X>
- Chatterjee, D., H. Zhuang, B. C. Bowker, A. M. Rincon, and G. Sanchez-Brambila. 2016. Instrumental texture characteristics of broiler pectoralis major with the wooden breast condition. *Poultry Science* 95 (10): 2449–54.  
<https://doi.org/10.3382/PS/PEW204>
- Costa, L.S., D. F Pereira, L. G. F Bueno, and H. Pandorfi. 2012. Some aspects of chicken behavior and welfare. *Brazilian Journal of Poultry Science* 14 (3): 159–64.  
<https://doi.org/10.1590/S1516-635X2012000300001>
- Cotter, P. F. 2015. An examination of the utility of heterophil-lymphocyte ratios in assessing stress of caged hens. *Poultry Science* 94 (3): 512–17.  
<https://doi.org/10.3382/PS/PEU009>
- Crawford, D.C., C.L Sanders, X. Qin, J.D. Smith, C. Shephard, M. Wong, L. Witrak, M.J. Rieder, and D.A. Nickerson. 2006. Genetic variation is associated with C-reactive protein levels in the third national health and nutrition examination survey. *Circulation* 114 (23):2458-2465.  
<https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.615740>.
- Davis, A.K., D.L. Maney, and J.C. Maerz. 2008. The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: a review for ecologists. *Functional Ecology*; 22 (5):760–72.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01467.x>
- Dawkins, M. S. 1999. The role of behaviour in the assessment of poultry welfare. *World's Poultry Science Journal* 55 (3): 302–3.  
<https://doi.org/10.1079/WPS19990022>
- De Almeida Mallmann, B., 2019. Prediction and evaluation of breast myopathy. Ph.D thesis. University of Arkansas. Arkansas. USA.  
<https://scholarworks.uark.edu/etd/3376>
- Eckersall, P. D., and R. Bell. 2010. Acute phase proteins: biomarkers of infection and inflammation in veterinary medicine. *Veterinary Journal* 185 (1): 23–27. <https://doi.org/10.1016/J.TVJL.2010.04.009>



- Gentle, M.J. 2011. Pain issues in poultry. *Applied Animal Behavior Science*. Dec 15;135(3):252–8.  
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.10.023>
- Griffin, J.R., L. Moraes, M. Wick M, and M.S. Lilburn. 2018. Onset of white striping and progression into wooden breast as defined by myopathic changes underlying pectoralis major growth. Estimation of growth parameters as predictors for stage of myopathy progression. *Avian Pathology: Journal of the W.V.P.A* 47 (1): 2–13.  
<https://doi.org/10.1080/03079457.2017.1356908>
- Gross, W.B., and S. Siegel. 1983. Evaluation of the heterophil/lymphocyte ratio as a measure of stress in chickens. *Avian Diseases* 27 (4): 972–79.  
<https://doi.org/10.2307/1590198>
- Harvey, J. W. 2001. *Atlas of veterinary hematology*. Editorial W.B. Saunders, Philadelphia: USA. 44 p. ISBN 9780721663340.
- Huang, X., and D. U. Ahn. 2018. The incidence of muscle abnormalities in broiler breast meat: a review. *Korean Journal of Food Science Animal Resources*. 2018 Oct;38(5):835–50.  
<https://doi.org/10.5851/kosfa.2018.e2>
- Kuttappan, V.A., V.B. Brewer, J.K. Apple, P.W. Waldroup, and C.M. Owens. 2012. Influence of growth rate on the occurrence of white striping in broiler breast fillets. *Poultry Science* 91 (10): 2677–85.  
<https://doi.org/10.3382/PS.2012-02259>
- Kuttappan, V.A., V.B. Brewer, A. Mauromoustakos, S.R. McKee, J.L. Emmert, J.F. Meullenet, and C.M. Owens. 2013a. Estimation of factors associated with the occurrence of white striping in broiler breast fillets. *Poultry Science* 92 (3): 811–19.  
<https://doi.org/10.3382/PS.2012-02506>
- Kuttappan, V.A., G.R. Huff, W.E. Huff, B.M. Hargis, J.K. Apple, and C. Coon, 2013b. Comparison of hematologic and serologic profiles of broiler birds with normal and severe degrees of white striping in breast fillets. *Poultry Sciences*. 2013 Feb 1;92(2):339–45.  
<https://doi.org/10.3382/PS.2012-02647>
- Kuttappan, V.A., B.M. Hargis, and C.M. Owens. 2016. White striping and woody breast myopathies in the modern poultry industry: A Review. *Poultry Science* 95 (11): 2724–33.  
<https://doi.org/10.3382/PS/PEW216>
- Lake, J.A., J.C.M Dekkers, and B. Abasht, B. 2021. Genetic basis and identification of candidate genes for wooden breast and white striping in commercial broiler chickens. *Scientific Reports* 2021 11:1 11(1):1–13.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-86176-4>
- Lee, Y.S., C.M. Owens, C. Mand, and J. F. Meullenet. 2008. The Meullenet-Owens razor shear (Mors) for predicting poultry meat tenderness: its applications and optimization. *Journal of Texture Studies* 39 (6): 655–72.  
<https://doi.org/10.1111/J.1745-4603.2008.00165.X>
- Lorenzi, M., S. Mudalal, C. Cavani, and M. Petracci. 2014. Incidence of white striping under commercial conditions in medium and heavy broiler chickens in Italy. *Journal of Applied Poultry Research* 23 (4): 754–58.  
<https://doi.org/10.3382/JAPR.2014-00968>
- Lourenço da Silva, M.I., I.C de L. Almeida Paz, G.H.C. Chaves, I.C de L. Almeida, C.C dos. Ouros, S.R.L de Souza, E.L. Milbradt, F.R. Caldara, A.J.G. Satin, G.A. da Costa, and ASG. Glavina. 2021. Behaviour and animal welfare indicators of broiler chickens housed in an enriched environment. *PLOS ONE* 16(9):e0256963.  
<https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0256963>
- MacRae, V.E., M. Mahon, S. Gilpin, D.A. Sandercock, and M.A. Mitchell. 2006. Skeletal muscle fibre growth and growth associated myopathy in the domestic chicken (*Gallus Domesticus*). *British Poultry Science* 47 (3): 264–72.  
<https://doi.org/10.1080/00071660600753615>
- Manteca, X. 2016. Use of Outcome Based Measures and Design Based Measures. In 4th OIE Global conference of animal welfare, edited by OIE. Guadalajara, México: OIE.  
<https://old.oie.int/esp/animal-welfare-conf2016/presrec.html>
- Marques, AT., L. Nordio, C. Lecchi, G. Grilli, C. Giudice, and F. Cecilian. 2017. Widespread extrahepatic expression of acute-phase proteins in healthy chicken (*Gallus gallus*) tissues.  
<https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2017.06.006>
- Marques, T. A. 2016. Molecular biomarkers of welfare in poultry. *Proceeding of Veterinary and Animal Science Days*, Vol 2, No 1s. doi:  
<http://dx.doi.org/10.13130/22833927/5126>
- Mellor, D.J. 2017. Operational details of the five domains model and its key applications to the assessment and management of animal welfare. *Animals* Aug 7(8): 60.  
<https://doi.org/10.3390/ani7080060>
- Mudalal, S., M. Lorenzi, F. Soglia, C. Cavani, and M. Petracci. 2015. Implications of white striping and wooden breast abnormalities on quality traits of raw and marinated chicken meat. *Animal* 9(4):728–734.  
<https://doi.org/10.1017/S175173111400295X>

- Norring, M., E. Kaukonen, and A. Valros. 2016. The use of perches and platforms by broiler chickens. *Applied Animal Behaviour Science* 184. November. 91-96.  
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2016.07.012>
- Petracci, M., S. Mudalal, F. Soglia, and C. Cavani. 2019. 2019. Meat quality in fast-growing Broiler chickens. *World's Poultry Science Journal* Vol 71 (2): 363-74.  
<https://doi.org/10.1017/S0043933915000367>
- Scanes, C.G. 2016. Biology of stress in poultry with emphasis on glucocorticoids and the heterophil to lymphocyte ratio. *Poultry Science*. Sep 1;95 (9): 2208-15.  
<https://doi.org/10.3382/ps/pew137>
- Shini, S., P. Kaiser, A. Shini A, and W. L Bryden. 2008. Differential alterations in ultrastructural morphology of chicken heterophils and lymphocytes induced by corticosterone and lipopolysaccharide. *Veterinary Immunology and Immunopathology* 122 (1-2): 83-93.  
<https://doi.org/10.1016/J.VETIMM.2007.10.009>
- Shields, S.J., J.P Garner, and J.A Mench. 2005. Effect of sand and wood-shavings bedding on the behavior of broiler chickens. *Poultry Science* 84 (12): 1816-24.  
<https://doi.org/10.1093/PS/84.12.1816>
- Sihvo, H.K;ç., K. Immonen, and E. Puolanne. 2014. Myodegeneration with fibrosis and regeneration in the pectoralis major muscle of broiler. *Veterinary Pathology* 2014, 51(3) 619-623.  
<https://doi.org/10.1177/0300985813497488>.
- Soglia, F., M. Petracci, M. Davoli, and R. Zappaterra, M. 2021. A critical review of the mechanisms involved in the occurrence of growth-related abnormalities affecting broiler chicken breast muscles. *Poultry Science* 100(6).  
<https://doi.org/10.1016/J.PSJ.2021.101180>.
- Sohail M.U., A. Ijaz, M.S. Yousaf, K. Ashraf, H. Zaneb, and M. Aleem. 2010. Alleviation of cyclic heat stress in broilers by dietary supplementation of mannan-oligosaccharide and lactobacillus-based probiotic: dynamics of cortisol, thyroid hormones, cholesterol, C-reactive protein, and humoral immunity. *Poultry Science*. 2010 Sep; 89 (9):1934-8.  
<https://doi.org/10.3382/ps.2010-00751>
- Sproston, N.R., and J.J. Ashworth. 2018. Role of C-reactive protein at sites of inflammation and infection. *Frontiers in Immunology* 9(APR):754.  
<https://doi.org/10.3389/FIMMU.2018.00754/BIBTEX>
- Tasoniero, G., B. Bowker, and H. Zhuang. 2020. Research note: Texture characteristics of wooden breast fillets deboned at different postmortem times. *Poultry Science* 99(8):4096-4099.  
<https://doi.org/10.1016/J.PSJ.2020.04.028>
- The jamovi project (2022). *Jamovi (Version 2.25) [Computer Software]*. Retrieved from <https://www.jamovi.org>
- Tijare, V., F. L. Yang, V. A. Kuttappan, C. Z. Alvarado, C. N. Coon, and C. M. Owens. 2016. Meat quality of broiler breast fillets with white striping and woody breast muscle myopathies. *Poultry Science* 95 (9): 2167-73.  
<https://doi.org/10.3382/PS/PEW129>
- Wang, J., D.L Clark, S.K Jacobi, and S.G Velleman. 2021. Effect of vitamin E and alpha lipoic acid on intestinal development associated with wooden breast myopathy in broilers. *Poultry Science* 100(3):100952.  
<https://doi.org/10.1016/J.PSJ.2020.12.049>
- Yanai, T., M. I Abo-Samaha, S. E. El-Kazaz, and H. G. Tohamy. 2018. Effect of stocking density on productive performance, behaviour, and histopathology of the lymphoid organs in broiler chickens. *European Poultry Science* 82.  
<https://doi.org/10.1399/EPS.2018.247>