



Cátedra Nanta
de Ganadería de Precisión
Universidad Zaragoza



MIOPATIAS MAS IMPORTANTES EN BROILER:

CAUSAS Y FORMAS DE MITIGACION

Descripción breve

Causas, patogenia y prevención de los tres procesos mas importantes que afectan a las pechugas de los pollos

Contenido

Importancia de las miopatías en pollos	2
Introducción a las Miopatías Musculares del Pollo de Engorde: Carne Espagueti (SM), Estría Blanca (WS) y Pechuga de Madera (WB)	2
Descripción y características del WOODEN BREAST	4
Causas y Patogenia del Wooden Breast:	5
Estrategias de Mitigación (con énfasis en la nutrición):	7
Descripción y Características de la Estría Blanca (WS).....	8
Prevalencia y Severidad	9
Patogénesis y Mecanismos Subyacentes	9
Impacto en la Calidad de la Carne	10
Asociación con el Peso del Filete.....	10
Co-ocurrencia con Otras Miopatías	10
Estrategias de Mitigación	10
Descripción y Características de la Carne Espagueti (SM). Spaguetti Meat.....	11
Prevalencia e Incidencia	11
Impacto en la Calidad de la Carne	12
Co-ocurrencia con Otras Miopatías (WB y WS)	12
Asociación con el Peso del Filete	13
Estrategias de Mitigación	13
Impacto económico de las miopatías más comunes	13
Tabla -Resumen.....	14
Conclusiones	15
Bibliografía	17

MIOPATIAS MAS IMPORTANTES EN BROILER: WOODEN BREAST, WHITE STRIPING Y SPAGUETTI MEAT

Importancia de las miopatías en pollos

Introducción a las Miopatías Musculares del Pollo de Engorde: Carne Espagueti (SM), Estría Blanca (WS) y Pechuga de Madera (WB)

La industria avícola moderna se enfrenta a desafíos crecientes para mantener la calidad de la carne de pollo debido a la **selección genética intensiva enfocada en el crecimiento rápido y el alto rendimiento de la pechuga**. En las últimas décadas, han surgido tres miopatías musculares principales que afectan la carne de la pechuga de los pollos de engorde comerciales: la **Carne Espagueti (SM)**, la **Estría Blanca (WS)** y la **Pechuga de Madera (WB)**. Estas anomalías representan una **tremenda carga económica y de bienestar** para el sector avícola global, impactando negativamente tanto la calidad del producto como la percepción del consumidor.

Relación y causas de las Miopatías

Las miopatías SM, WS y WB no son condiciones aisladas; comparten **características microscópicas comunes**, incluyendo miodegeneración, inflamación, necrosis, edema, fibrosis y lipidosis. Además, se ha identificado que el **estrés oxidativo inducido por hipoxia es un evento clave temprano** en los procesos patológicos de la Pechuga de Madera (WB).

Es crucial comprender que estas miopatías **frecuentemente se dan a la vez**. Un estudio exhaustivo reveló que **solo el 12% de las muestras de pechuga no presentaban ninguna miopatía**, mientras que un **59% de las muestras exhibían la co-ocurrencia de múltiples miopatías**. Por ejemplo, el **47.7% de las muestras con WB también mostraban WS**, y la co-ocurrencia combinada de WS, WB y SM se observó en aproximadamente el 8.7% de los filetes evaluados. La coexistencia de WS y WB se reportó en el 34.7% de los filetes. Interesantemente, se ha observado una **relación inversa entre la severidad de SM y la de WB/WS**: a medida que la severidad de WB y WS aumentaba, la presencia de SM disminuía. A diferencia de WB y WS, no se ha encontrado una asociación estadísticamente significativa entre la miopatía SM y el peso del filete, mientras que sí existe una relación lineal positiva entre WS, WB y el peso del filete.

Impacto y Relevancia para la Industria Avícola

La prevalencia de estas miopatías es alarmante. Algunos informes sugieren que **hasta el 85% de los pollos de engorde pueden verse afectados por WB a las 9 semanas de edad**, con casi la mitad de los casos clasificados como severos o muy severos. Otras estimaciones sitúan la incidencia de WB hasta en un 90% en pollos de engorde comerciales. Estas condiciones tienen un **profundo impacto en la calidad de la carne**, manifestándose en una mayor dureza, reducción de la capacidad de retención de agua (WHC) y mayor pérdida por goteo, así como una posible disminución del valor nutricional. Esto complica el procesamiento posterior y puede llevar al **rechazo del consumidor**. Solo la Pechuga de Madera (WB) ha generado pérdidas estimadas en 200 millones de dólares al año en Estados Unidos.

Estrategias de Prevención: Un Enfoque en la Nutrición

Dada la naturaleza multifactorial de estas miopatías, se requiere un **enfoque holístico** que combine la selección genética a largo plazo con mejoras a corto y medio plazo en las estrategias nutricionales y de manejo. Reconociendo el papel central del estrés oxidativo inducido por hipoxia en la patogénesis de WB y WS, las **modificaciones de factores no genéticos, especialmente los nutricionales, ofrecen una oportunidad más inmediata para reducir su incidencia**.

Las estrategias nutricionales innovadoras han mostrado un potencial prometedor para mitigar la severidad de estas condiciones sin comprometer el rendimiento del crecimiento. Algunas áreas clave de intervención nutricional incluyen:

- **Gestión de la Densidad de Energía Metabolizable (ME) y Calidad de la Grasa:** Las dietas con **alta densidad de ME han demostrado aumentar la incidencia de WB**, y la inclusión de **aceite de soja oxidado en la dieta también ha incrementado la incidencia y severidad de WB**, al generar productos oxidativos que alteran el equilibrio redox del animal.
- **Aminoácidos Específicos:** La suplementación con altas dosis de L-arginina puede atenuar la incidencia de WS y SM, aunque su efecto sobre WB es mixto. Sin embargo, el silicato de arginina estabilizado con inositol ha reducido la severidad de WB y WS. Por otro lado, la suplementación con glutamina podría aumentar la severidad de WB y WS. Se ha observado una menor incidencia de WB con una relación Histidina:Lisina específica.
- **Antioxidantes y Minerales Traza:** Aunque los resultados son mixtos, la suplementación con vitamina E y ácidos grasos omega-3 puede reducir la severidad de WB, y la combinación de vitamina E con ácido alfa lipoico ha mostrado efectos positivos en la mitigación de la inflamación intestinal, lo que probablemente reduce la severidad de WB. La suplementación con antioxidantes y minerales traza orgánicos (zinc, manganeso, cobre) también ha reducido WB.
- **Aditivos Alimentarios:** El **ácido guanidinoacético (GAA)**, un precursor de la creatina, ha demostrado **mejorar el rendimiento de crecimiento temprano y reducir la severidad de WB y WS**, así como el riesgo de SM. Las fitasas, como Quantum Blue o HiPhorius, también han mostrado la capacidad de reducir la severidad de WB, actuando como antioxidantes.

- **Modulación de la Microbiota Intestinal:** Esta es una estrategia novedosa, aunque los resultados son variados; algunos probióticos han aumentado la incidencia de WB, mientras que la modulación precisa de la microbiota podría mejorar el estado antioxidante y el rendimiento de crecimiento.

En síntesis, la elevada prevalencia y la complejidad de estas miopatías subrayan la necesidad de **continuar la investigación y la implementación de estrategias nutricionales y de manejo integrales** para mitigar su impacto económico y en la calidad de la carne avícola.

Descripción y características del WOODEN BREAST

El "Wooden Breast" (WB) es una miopatía muscular multifactorial y un desafío persistente en la industria avícola que afecta principalmente a los pollos de engorde. Fue descrito patológicamente por primera vez a principios de la década de 2010.

Impacto y Características del Wooden Breast: El WB tiene un impacto profundo en la calidad de la carne, llevando a un **aumento de la dureza**, una **reducción del valor nutricional**, y una **menor capacidad de retención de agua (WHC)**. Los consumidores perciben estos cambios, lo que puede resultar en una **falta de disposición para comprar pechugas de pollo afectadas**. Esta condición genera **pérdidas económicas sustanciales**, estimadas entre \$200 millones y \$1 billón anualmente en la industria avícola de EE. UU.

Macroscópicamente, el WB se caracteriza por **músculos abultados con una textura dura y rígida**, acompañados de **hemorragias superficiales** y un **exudado viscoso de color amarillo claro**. Histológicamente, se observa **degeneración de las fibras musculares**, **variabilidad en el tamaño de las fibras**, **lisis de las fibras**, **hialinización**, **degeneración flocular y/o vacuolar**, **fibrosis extensa**, **lipidosis** e **infiltración de macrófagos**. Fisiológicamente, se produce una degradación de las fibras musculares y su reemplazo por tejido conectivo, especialmente en el perimio.

La incidencia del WB varía, con algunos informes que sugieren que hasta el **85% de los pollos de engorde a las 9 semanas de edad** están afectados, y casi la mitad de los casos se clasifican como graves o muy graves. En China, estudios han reportado una alta incidencia del 61.9% en estirpes modernas de pollos de engorde de alto rendimiento. Se ha observado que hasta el 90% de los pollos de engorde pueden estar afectados por WB.

La miopatía afecta principalmente al músculo *pectoralis major* y, ocasionalmente, al *pectoralis minor*. Las lesiones de WB comienzan focalmente y se vuelven más difusas a medida que el ave envejece. Los síntomas se han detectado tan pronto como a las 2 semanas de edad, pero son más comunes en pollos de 5 a 6 semanas o más (cerca del peso de mercado), especialmente en machos, debido a sus músculos pectorales más grandes y tasas de crecimiento más rápidas.

La condición del WB está fuertemente asociada con las **prácticas de cría selectiva intensiva** en el sistema de producción avícola, dirigidas a lograr **tasas de crecimiento rápidas y un mayor rendimiento de la pechuga**.

Causas y Patogenia del Wooden Breast:

La etiología exacta del WB sigue siendo incierta y debatida, pero se ha identificado que es un síndrome multifactorial donde las **predisposiciones genéticas para el crecimiento rápido** interactúan con **estreses fisiológicos e impedimentos anatómicos**.

1. Hipoxia y Estrés Oxidativo:

- La selección genética para un crecimiento rápido conduce a la **hipertrofia muscular**, con fibras musculares agrandadas y un crecimiento desequilibrado del tejido conectivo de soporte. Este crecimiento desproporcionado puede superar el desarrollo de la red vascular, resultando en una **densidad reducida de vasos sanguíneos**. Las fibras musculares hipertrofiadas también pueden **comprimir la arteria pectoral**, restringiendo el flujo sanguíneo y reduciendo el suministro de nutrientes y oxígeno al músculo.
- La **hipoxia (suministro insuficiente de oxígeno)** es un factor impulsor conocido del estrés oxidativo. Esto ocurre cuando el equilibrio entre prooxidantes y antioxidantes se altera, llevando a la formación de **especies reactivas de oxígeno (ROS)**, que pueden dañar las estructuras celulares y promover la inflamación.

2. Consecuencias del Estrés Oxidativo:

- **Disfunción mitocondrial:** El estrés oxidativo induce la **acumulación excesiva de ROS en las mitocondrias**, lo que lleva a una morfología mitocondrial deficiente y disfunción. La actividad ineficiente de la cadena respiratoria mitocondrial bajo condiciones hipóxicas contribuye a la formación de ROS. Se ha observado la **subregulación de genes clave en la biogénesis y funcionalidad mitocondrial** (como PPARGC1A y PPARGC1B), y la supresión del ciclo de TCA y la cadena de transporte de electrones (ETC) en la miopatía WB.
- **Deterioro de la homeostasis del calcio:** El daño celular en el WB implica cambios en los canales de sodio/potasio-ATPasa (Na^+/K^+ -ATPasa), que están relacionados con la **acumulación de calcio**. La disfunción de estas bombas puede llevar a la **despolarización de la membrana celular**, activando canales de calcio dependientes de voltaje y aumentando el calcio intracelular. La sobrecarga de calcio en las células musculares conduce a la **hipercontracción de las miofibras**, la disfunción celular y el daño tisular. Niveles altos de calcio pueden desestabilizar el potencial de membrana mitocondrial, aumentando la producción de radicales superóxido.
- **Estrés del Retículo Endoplasmático (ER):** La hipoxia afecta negativamente las funciones celulares, especialmente dentro del ER, un

sitio crítico para la síntesis de proteínas. La reducción del suministro de oxígeno y la escasez de energía disminuyen la capacidad del ER para plegar correctamente las proteínas, lo que lleva a una acumulación de proteínas mal plegadas o desplegadas y desencadena una **respuesta de estrés celular conocida como estrés del ER**. Este estrés del ER inducido por la hipoxia puede contribuir a **respuestas inflamatorias, eventos apoptóticos y procesos degenerativos**.

- **Oxidación de proteínas:** El estrés oxidativo aumenta la oxidación de proteínas en el WB. Esto afecta negativamente las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de la carne, incluyendo el **aumento de la dureza de la carne**, la **reducción de la WHC** y una **mayor pérdida por goteo** durante el procesamiento y la cocción. También puede llevar a la **pérdida de aminoácidos esenciales**, reduciendo el valor nutricional general de la carne.
- **Oxidación de lípidos:** Los músculos de pollo con WB han mostrado un **aumento en la deposición de grasa intramuscular y la biosíntesis de colesterol**, y una **composición de ácidos grasos alterada**, con niveles elevados de ácidos grasos saturados y monoinsaturados, y niveles reducidos de PUFAs. El aumento de la oxidación de lípidos daña el sarcolema, afectando la integridad de la membrana celular y la función celular. Dietas con **aceite de soja oxidado** incrementan la concentración de malondialdehído (MDA) y proteína carbonilo (PC) en suero, y elevan la incidencia y severidad del WB.
- **Remodelación del tejido conectivo (Fibrosis):** La **fibrosis** es un sello histopatológico del WB, desencadenada por el daño crónico de las fibras musculares, la necrosis y la inflamación, a menudo secundaria al estrés oxidativo. Las fibras musculares dañadas son reemplazadas por tejido conectivo laxo. El WB aumenta el contenido de componentes clave del tejido conectivo intramuscular (como colágeno) y altera su estabilidad térmica y estructura secundaria, lo que contribuye a la rigidez muscular.
- **Inflamación:** Es una reacción protectora a estímulos dañinos. Existe una relación directa causa-efecto entre hipoxia, estrés oxidativo e inflamación: las condiciones hipóxicas inducen una producción excesiva de ROS y estrés oxidativo, y el proceso inflamatorio resultante estimula aún más la aparición de estrés oxidativo. Muchas de las miopatías de la pechuga de pollo, incluido el WB, resultan de una **inflamación continua que lleva a la necrosis de las fibras musculares**. La presencia de tejido inflamado (miositis) se ha detectado en el músculo *pectoralis major* de aves afectadas por WB tan solo 2 semanas después del nacimiento.
- **Comportamiento alterado de las células satélite (SCs):** Las SCs son cruciales para el crecimiento postnatal y la autorrenovación muscular después de una lesión. En broilers afectados por WB, la **función de las SCs está comprometida**. En un estado hipóxico persistente, las SCs pueden cambiar su programa y, en lugar de diferenciarse en mioblastos para formar nuevos miotubos, se vuelven lipogénicas, lo que resulta en

una mayor síntesis de ácidos grasos y deposición de grasa en el tejido muscular.

Estrategias de Mitigación (con énfasis en la nutrición):

Reducir la incidencia y gravedad del WB requiere un **enfoque holístico** que combine la selección genética a largo plazo con mejoras a corto y medio plazo en las estrategias nutricionales y de manejo. Las modificaciones de los factores no genéticos, especialmente aquellos que causan estrés oxidativo, ofrecen una oportunidad más inmediata para reducir su incidencia.

1. Manejo Ambiental:

- La **duración del almacenamiento de los huevos** antes de la eclosión, la **manipulación del desarrollo embrionario** mediante la temperatura de incubación de los huevos y el peso del pollito al nacer pueden influir en las anomalías de la pechuga.
- La **ventilación insuficiente** puede aumentar los niveles de dióxido de carbono en la nave, un factor de riesgo para el desarrollo de miopatías.
- El **estrés por calor** induce un estado similar a la hipoxia en los órganos internos y se ha relacionado con un aumento en la incidencia de WB y la alteración del metabolismo lipídico.

2. Manejo Nutricional (formulaciones innovadoras):

- **Intervención temprana:** Retrasar la alimentación y/o la provisión insuficiente de aminoácidos reducen la población de SC y aumentan la deposición de grasa y la peroxidación lipídica en los músculos.
- **Aminoácidos:**
 - Un nivel aumentado de **histidina** en relación con la lisina en el alimento ha mostrado una menor incidencia de WB, probablemente debido al aumento de dipéptidos relacionados con la histidina (carnosina y anserina) que mejoran el estado antioxidante del músculo.
 - Niveles más altos de **arginina** en la dieta pueden reducir la gravedad del WB y promover la expresión de genes de factores de crecimiento muscular, actuando como vasodilatador para mejorar el intercambio de nutrientes y metabolitos. Sin embargo, los resultados no siempre son consistentes.
- **Compuestos Antioxidantes y Aditivos Alimentarios:**
 - La suplementación con antioxidantes dietéticos como la **vitamina E, el selenio, la etoxiquina y los minerales quelados** se ha utilizado para reducir el estrés oxidativo y la aparición de WB, pero los resultados han sido variados.
 - El **ácido guanidinoacético (GAA)**, un precursor de la creatina, ha mostrado ser prometedor para aliviar el WB sin afectar negativamente el rendimiento de crecimiento, ya que apoya indirectamente la tolerancia al estrés oxidativo.

- Aumentar la **fitasa dietética** (que libera inositol) ha demostrado consistentemente mejorar la gravedad del WB al modular genes asociados con la homeostasis del oxígeno y reducir el estrés oxidativo.
- Las aves con WB a menudo presentan **digestión de lípidos deteriorada**, afectando la absorción de vitaminas liposolubles como la **vitamina K2**. La deficiencia de vitamina K2 compromete la integridad vascular, y se sugiere investigar su suplementación para posibles beneficios adicionales.
- **Calidad de la grasa en la dieta:**
 - Se debe evitar la inclusión simultánea de **alta densidad de energía metabolizable (ME) y aceite de soja oxidado** en las dietas de pollos de engorde. Se ha demostrado que esta combinación **interrumpe el metabolismo de los lípidos y la homeostasis redox**, lo que induce daño en las miofibras, aumenta la incidencia general del WB y exacerba su gravedad patológica. Las dietas con alta ME aumentaron significativamente la incidencia de WB (57.97% vs. 33.80%), y el aceite de soja oxidado también la incrementó (50.73% vs. 40.85%). La combinación de ambos factores resultó en la mayor incidencia de WB moderado y grave.
- **Modulación de la Microbiota Intestinal:**
 - Aunque la modulación de la microbiota intestinal se ha explorado como una estrategia novedosa, algunas intervenciones con probióticos como *Pediococcus acidilactici* o *Bacillus subtilis* han reportado un **aumento en la incidencia de WB**.
 - Por otro lado, la suplementación con *Lactiplantibacillus plantarum* P8 activó sistemas antioxidantes e inhibió la activación del inflammasoma NLRP3.
 - Se ha logrado mejorar el estado antioxidante y el rendimiento de crecimiento de los pollos, al tiempo que se reducen las respuestas inflamatorias, mediante la transferencia de microbiota intestinal de pollos adultos con alto peso corporal a pollitos recién nacidos.
 - Las intervenciones basadas en hipótesis que se dirigen a microbios o metabolitos intestinales específicos asociados con WB son necesarias para una mejor comprensión de su papel.

Descripción y Características de la Estría Blanca (WS)

La Estría Blanca (WS, por sus siglas en inglés) es una **anomalía muscular emergente relacionada con el crecimiento** en los pollos de engorde. Se caracteriza macroscópicamente por la aparición de **líneas blancas paralelas a las fibrillas musculares** en la carne de pechuga de pollo, predominantemente en la mitad craneal. Histológicamente, la WS se caracteriza por la **proliferación de tejido conectivo y una acumulación significativa de lípidos**.

Prevalencia y Severidad

La incidencia de WS puede variar considerablemente según los estudios y las condiciones.

- En un estudio, la incidencia de WS fue del **73%** (44 de 60 muestras), con el **45% clasificado como leve o moderado** (puntuación 1) y el **28% como severo** (puntuación 2).
- Otro estudio en pechugas de pollos de engorde comerciales reveló una incidencia general de WS del **58.7%**.
- La distribución de la severidad en este estudio fue: **41.3% normal, 37.7% leve, 19.3% moderada y 1.7% severa**.
- Se ha observado que incluso las pechugas de pollo que parecen normales macroscópicamente pueden presentar lesiones histopatológicas leves, lo que sugiere que la verdadera incidencia de WS podría ser mayor de lo reportado.

Patogénesis y Mecanismos Subyacentes

Los mecanismos exactos detrás del desarrollo de la WS aún no se han dilucidado por completo, pero se han identificado varios elementos clave en su patogénesis:

- **Procesos Patológicos Compartidos:** La WS, al igual que la “Pechuga de Madera” (WB) y la Carne Espagueti (SM), presenta características microscópicas comunes, como **miodegeneración, inflamación, necrosis, edema, fibrosis y lipidosis**.
- **Hipoxia y Estrés Oxidativo:** La **hipoxia**, o suministro insuficiente de oxígeno a los tejidos musculares, se considera un factor impulsor fundamental en el desarrollo de estas anomalías musculares. La hipoxia conduce a la acumulación de especies reactivas de oxígeno (ROS) y desencadena procesos inflamatorios.
- **Estrés del Retículo Endoplasmático (ER) y Apoptosis:**
 - Las investigaciones han demostrado que la **respuesta al estrés del retículo endoplasmático** y las **vías apoptóticas asociadas** (particularmente las señales PERK e IRE-1) están significativamente **activadas en los tejidos mamarios severamente afectados por WS**. Esto sugiere que la apoptosis mediada por el estrés del ER desempeña un papel central en la progresión de la WS.
 - La acumulación de proteínas mal plegadas o no plegadas en el lumen del ER, causada por la reducción del suministro de oxígeno y la escasez de energía, desencadena una respuesta de estrés celular conocida como estrés del ER.
 - Se ha observado un aumento significativo en la abundancia de transcritos de **NQO1**, una enzima antioxidante, en la WS severa, lo que indica la activación de respuestas antioxidantes para limitar la formación de ROS debido al plegamiento excesivo de proteínas.

- Un aumento en los niveles de transcritos de **XBP1 y EDEM1** (implicados en el plegamiento y transporte de proteínas) en la WS severa sugiere un intento por parte del músculo de hacer frente al estrés del ER.
- La hiperactivación de IRE1 puede activar mediadores pro-apoptóticos como **CASP2 y CASP8**, contribuyendo a la muerte celular programada en la WS severa.
- **Lipidosis:** La sustitución de tejido muscular por tejido adiposo o lipidosis es más elevada en las lesiones de WS moderadas y severas.

Impacto en la Calidad de la Carne

La WS conduce a una **reducción de las propiedades nutricionales y de las características físicas** de la carne de pechuga de pollo, lo que afecta negativamente la calidad de la carne.

Asociación con el Peso del Filete

Existe una **relación lineal positiva entre la WS y el peso del filete**, lo que significa que la puntuación promedio de la miopatía aumenta a medida que incrementa el peso del filete. Los grupos de mayor peso tienden a presentar el porcentaje más alto de los grados más severos de WS.

Co-ocurrencia con Otras Miopatías

La WS es **altamente prevalente** y a menudo se asocia con otras miopatías como la Pechuga e Madera (WB) y la Carne Espagueti (SM) en las bandadas de pollos de engorde comerciales.

- En un estudio, solo el 12% de las muestras de pechuga de pollo no mostraron ninguna miopatía; el 29% presentó solo una condición miopática, mientras que el **59% de las muestras exhibió la co-ocurrencia de múltiples miopatías**.
- Específicamente, el **47.7% de las muestras con WB también exhibieron WS**. Otro estudio indicó que el **34.7% de los filetes estaban afectados tanto por WS como por WB**.
- La co-ocurrencia combinada de WS, WB y SM se observó en aproximadamente el **8.7% de los filetes evaluados**.
- En general, a medida que la severidad de las miopatías WB y WS aumentaba, el número de muestras afectadas por la condición de SM disminuía. No se encontró una asociación estadísticamente significativa entre la miopatía SM y el peso del filete.

Estrategias de Mitigación

Se han explorado diversas estrategias nutricionales para mitigar la WS, aunque los resultados son variados:

- **Aminoácidos:** La suplementación con glutamina en la dieta **aumentó la severidad de la WS** en un estudio. En cuanto a la arginina, un estudio no encontró un efecto significativo en la WS con dosis altas, pero otro indicó que las dietas suplementadas con arginina **aumentaron el riesgo de desarrollar WS**. Sin embargo, el silicato de arginina estabilizado con inositol **redujo la severidad de la WS**.
- **Minerales:** La suplementación con selenio **aumentó la severidad de la WS y la WB**.
- **Ácido Guanidinoacético (GAA):** La suplementación con GAA mejoró el rendimiento de crecimiento temprano y **redujo la severidad tanto de la WB como de la WS** en un estudio.
- **Fitasa:** La suplementación con fitasa (Quantum Blue) mejoró el rendimiento de crecimiento y **redujo la incidencia de miopatía muscular** (incluyendo WB) en condiciones termoneutrales, pero **aumentó la incidencia** bajo estrés por calor. Otro tipo de fitasa (HiPhorius) **redujo la severidad de la WB sin afectar la incidencia de WS**.

Descripción y Características de la Carne Espagueti (SM). Spaguetti Meat

La Carne Espagueti (SM, por sus siglas en inglés) es una **miopatía emergente** que afecta la calidad de la carne de pollo. Macroscópicamente, la SM se caracteriza por una **pérdida de la integridad muscular en la región craneal del filete de pechuga**, lo que hace que los haces de fibras musculares sean fácilmente separables, dándole a la carne una apariencia similar a la de los espaguetis. La carne afectada por SM es **a menudo blanda o incluso blanda en exceso**.

Las fuentes indican que la SM, al igual que la Estría Blanca (WS) y la Pechuga de Madera (WB), se debe a procesos patológicos que comparten características microscópicas comunes, aunque sus manifestaciones macroscópicas difieren. Estos procesos incluyen una **rarefacción progresiva del tejido conectivo** en el endomisio y el perimisio, así como la presencia de **tejido conectivo inmaduro y de nueva formación**, lo que provoca una cohesión muscular deficiente. La etiología de estas miopatías, incluyendo la SM, ha sido asociada con el **crecimiento acelerado y el alto rendimiento de pechuga** en los pollos de engorde modernos.

Prevalencia e Incidencia

La incidencia de SM puede variar considerablemente entre estudios:

- En un estudio específico, el **25%** de las muestras de filetes de pechuga analizadas presentaban defectos de SM.

- Otras investigaciones citadas en las fuentes reportan incidencias de SM del **21%** en Italia, **35%** también en Italia, **31%** en Canadá, y **36.3%** en otro estudio canadiense.
- Un estudio anterior, refiriéndose a esta anomalía como un "defecto de mala cohesión", reportó una ocurrencia de SM leve y severa que oscilaba entre el 35.5% y el 46.9%.

Las variaciones en la prevalencia pueden deberse a diversos factores intrínsecos y extrínsecos, como la **estirpe del ave, la edad, el sexo y la dieta**.

Impacto en la Calidad de la Carne

La SM afecta negativamente las propiedades de calidad de la carne de pechuga de pollo. La sustitución de fibras musculares por tejido conectivo y adiposo conduce a una **reducción de las propiedades nutricionales y de las características físicas** de la carne. Esto puede afectar la voluntad de los consumidores de comprar filetes de pollo afectados por la miopatía.

Co-ocurrencia con Otras Miopatías (WB y WS)

La Carne Espagueti es **altamente prevalente** y a menudo se observa en **co-ocurrencia** con otras miopatías, como la Pechuga de Madera (WB) y la Estría Blanca (WS).

- En un estudio, el **59% de las muestras exhibieron la presencia de más de una miopatía**.
- Se observó una co-ocurrencia de WB y SM en el **14.7%** de las muestras.
- La **co-ocurrencia combinada de WS, WB y SM** se encontró en aproximadamente el **8.7%** de todos los filetes evaluados en un estudio.
- Curiosamente, existe una **relación inversa entre la severidad de WB y la presencia de SM**: un aumento en la puntuación de WB disminuye las probabilidades de que el filete esté afectado por SM. Por ejemplo, en un estudio, si la pechuga tenía una categoría severa de WB, la SM no estaba presente. El porcentaje de muestras afectadas por SM disminuyó a medida que aumentaba la severidad de las miopatías WB y WS.
- El estudio también encontró que el **20% de los filetes estaban afectados solo por SM**.
- La incidencia de co-ocurrencia más alta para SM se observó cuando los filetes de pechuga estaban afectados simultáneamente por WS leve (WS1) y WB leve (WB1) (WS1WB1SM1).
- En comparación con estudios canadienses, un estudio encontró una **mayor prevalencia de solo SM** y una **menor prevalencia de filetes afectados por una combinación de WS, WB y SM**.

Asociación con el Peso del Filete

A diferencia de WB y WS, las fuentes indican que **no se encontró una asociación estadísticamente significativa entre la miopatía SM y el peso del filete.**

Estrategias de Mitigación

Se han investigado algunas estrategias nutricionales para mitigar la SM:

- La **suplementación dietética con altas dosis de L-arginina** (aproximadamente un 30% más de lo recomendado para pollos de engorde de crecimiento rápido) fue capaz de **atenuar la incidencia y severidad de las anomalías de WS y SM**, aunque no tuvo un efecto significativo en WB. La arginina es un precursor del óxido nítrico, que actúa como vasodilatador, lo que podría mejorar el suministro de oxígeno.
- La suplementación con **ácido guanidinoacético (GAA)** redujo el riesgo de desarrollar miopatía SM sin comprometer el rendimiento de los pollos de engorde. El GAA es un precursor de la creatina, que puede contribuir a reducir la peroxidación lipídica e influir en el metabolismo de la glucosa, ambos asociados con las miopatías musculares.

Impacto económico de las miopatías más comunes

Los procesos de Carne Espagueti (SM), Estría Blanca (WS) y Pechuga de Madera (WB) en pollos de engorde conllevan una **significativa carga económica** para la industria avícola a nivel mundial.

- La emergencia global de las miopatías musculares en pollos de engorde comerciales se ha convertido en una **enorme carga económica y de bienestar** para la industria avícola. Algunas estimaciones sugieren que **hasta el 90% de los pollos de engorde pueden verse afectados por la Pechuga de Madera (WB).**
- Específicamente, la Pechuga de Madera (WB) por sí sola ha causado una **pérdida estimada de 200 millones de dólares al año en los Estados Unidos.**
- La WB es una miopatía generalizada y **económicamente significativa** que afecta a los pollos de engorde.
- Estas miopatías afectan negativamente la calidad de la carne, lo que lleva a un **aumento de la dureza, una reducción de la capacidad de retención de agua (WHC) y una mayor pérdida por goteo**, así como una posible disminución del valor nutricional. Esto complica el procesamiento posterior y puede conducir al **rechazo del consumidor.**

En resumen, la elevada prevalencia de estas miopatías, especialmente la Pechuga de Madera, genera **pérdidas económicas sustanciales** debido a la degradación de la calidad de la carne y los problemas en el procesamiento y aceptación por parte del consumidor.

La cifra de **200 millones de dólares anuales solo para WB en Estados Unidos** subraya la magnitud del desafío económico que estas condiciones representan para la industria avícola.

¡Excelente iniciativa! La investigación en miopatías musculares avícolas es crucial dada su **significativa carga económica y de bienestar** para la industria. Como Director Técnico de una empresa especializada en nutrición avícola, su enfoque en la prevención y mitigación a través de la alimentación es muy pertinente, ya que las **modificaciones de factores no genéticos, especialmente los nutricionales, ofrecen una oportunidad más inmediata** para reducir la incidencia y severidad de estas condiciones.

Tabla -Resumen

Miopatía	Causas Principales	Patogenia	Estrategias de Mitigación	Diferencias Clave
Wooden Breast (WB)	- Crecimiento rápido- Hipoxia muscular- Desequilibrio vascular- Estrés oxidativo	- Fibrosis y rigidez muscular- Degeneración muscular- Disfunción mitocondrial- Estrés del retículo endoplasmático (ER)- Inflamación crónica- Remodelado del tejido conectivo- Sobreexpresión de ROS y sobrecarga de calcio intracelular	- Reducción de densidad energética (ME)- Evitar aceite de soja oxidado- Suplementar GAA (ácido guanidinoacético)- Silicato de arginina estabilizado- Relación específica His:Lys (0.45)- Vitamina E y omega-3- Fitasa (HiPhorius, Quantum Blue)- Antioxidantes y minerales orgánicos (Zn, Cu, Mn)- Manejo ambiental (ventilación, evitar estrés térmico)- Modulación intestinal selectiva	La más severa en textura (dureza). Incide sobre todo en filetes pesados y machos. Alta asociación con fibrosis.

White Striping (WS)	<ul style="list-style-type: none"> - Crecimiento rápido- Hipoxia y estrés oxidativo- Alteración en metabolismo lipídico 	<ul style="list-style-type: none"> - Estrés del ER- Acumulación de lípidos y tejido conectivo- Apoptosis mediada por IRE1/PERK- Lipidosis y necrosis- Activación de genes antioxidantes (NQO1, XBP1, CASP2, CASP8) 	<ul style="list-style-type: none"> - Silicato de arginina con inositol- GAA- Relación His:Lys adecuada- Evitar suplementación con glutamina y selenio- Modulación del ER (uso potencial de antioxidantes)- Manejo del peso del ave 	<p>Afecta estética de la carne (estrías blancas). Alta coocurrencia con WB. Asociada al peso del filete.</p>
Spaghetti Meat (SM)	<ul style="list-style-type: none"> - Cohesión deficiente del tejido conectivo- Fibrosis inmadura- Desequilibrio de fibras 	<ul style="list-style-type: none"> - Separación de haces musculares- Rarefacción del endomisio y perimisio- Sustitución por tejido conectivo inmaduro- Ausencia de fibrosis severa como en WB- Afectación localizada en región craneal del filete 	<ul style="list-style-type: none"> - L-arginina en dosis altas- GAA (efecto indirecto antioxidante y de soporte energético)- Manejo genético y nutricional para evitar crecimiento excesivo- Ajuste del perfil de aminoácidos- Intervención temprana para proteger integridad del tejido conectivo 	<p>Carne blanda y desestructurada. Sin asociación significativa con peso. Más frecuente en aves más ligeras.</p>

Conclusiones

La miopatía de **Pechuga de Madera (Wooden Breast o WB)** es una anomalía muscular multifactorial en pollos de engorde, resultante de la interacción entre **predisposiciones genéticas para un crecimiento rápido, estrés fisiológico y deficiencias anatómicas**. Esta condición impacta negativamente la calidad de la carne, aumentando la dureza y reduciendo el valor nutricional, lo que genera pérdidas económicas significativas para la industria avícola debido a la carne condenada o degradada.

La patogénesis de WB se caracteriza por eventos tempranos como la **hipoxia y el estrés oxidativo inducido**, que son cruciales en el desarrollo de la miopatía. Esto conduce a una **disfunción mitocondrial**, con una dinámica reducida y un aumento en la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS). También se observan **oxidación de proteínas y lípidos**, siendo los ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) particularmente susceptibles, así como **desregulación del calcio** intracelular, que puede desestabilizar la membrana mitocondrial. Otros rasgos patológicos incluyen el **remodelado del tejido conectivo, fibrosis e inflamación**, y un deterioro en el comportamiento de las **células satélite**, afectando la reparación y regeneración del tejido muscular. En casos graves de White Striping (WS), se sugiere que el **estrés del retículo endoplasmático (ER) y la apoptosis asociada** tienen un papel central en la progresión de la enfermedad.

Diversos **factores dietéticos** influyen en la incidencia y gravedad del WB. Las dietas con **alta densidad de energía metabolizable (ME)**, por ejemplo de 3,220 kcal/kg en comparación con 3,100 kcal/kg, incrementan significativamente la incidencia y severidad de WB. La inclusión de **aceite de soja oxidado** en la dieta exacerba esta miopatía, especialmente cuando se combina con dietas de alta ME. La alta prevalencia y coocurrencia de WB con otras miopatías como WS y Spaghetti Meat (SM) subraya la complejidad del problema.

Para mitigar el WB, se han investigado **estrategias nutricionales** enfocadas en **compuestos antioxidantes y la modulación de la microbiota intestinal**. Algunas adiciones dietéticas que han demostrado efectos positivos incluyen:

- **Silicato de arginina estabilizado con inositol** para mejorar el suministro de oxígeno.
- Una relación **His:Lys de 0.45** para potenciar el estado antioxidante muscular.
- **Potasio y fósforo disponible** para mejorar el balance ácido-base.
- Ciertas **fitasas** (como Quantum Blue y HiPhorius) que modulan los perfiles de ácidos grasos y mejoran el metabolismo de la glucosa.
- **Vitamina E y ácidos grasos omega-3** para reducir el estrés oxidativo y la inflamación.
- **Ácido guanidinoacético (GAA)** para disminuir la peroxidación lipídica y mejorar el rendimiento de crecimiento temprano.
- **Antioxidantes y minerales orgánicos traza** para fortalecer el estado antioxidante endógeno y exógeno.

Sin embargo, **no todas las intervenciones han sido consistentemente positivas**; algunas relaciones de Arg:Lys, ciertos probióticos o el selenometionina-Zn no han mostrado efectos beneficiosos o incluso han sido perjudiciales. La complejidad del WB y su alta prevalencia requieren un **enfoque multifactorial continuo** para desarrollar soluciones efectivas y minimizar las pérdidas en la producción avícola.

Bibliografía

- **Che, S., Wang, C., Varga, C., Barbut, S., & Susta, L.** (2023). Prevalence of breast muscle myopathies (spaghetti meat, woody breast, white striping) and associated risk factors in broiler chickens from Ontario Canada. *PLoS ONE*, 11(4), Article e0267019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267019>.
- **[Autores no especificados]**. (2024). [Título del documento: sobre estrés del retículo endoplasmático en White Striping]. *Poultry Science*, 103, 104103. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104103>.
 - *Nota:* La lista completa de autores y el título exacto de este artículo no se proporcionan explícitamente en los fragmentos de origen, solo el DOI y el identificador del artículo.
- **Navárrro Villa, A.** (n.d.). *Meat quality internal launch: Proposal – Dedicated Meat quality project*. [Presentación interna]. Trouw Nutrition R&D.
- **Rimmer, L. A., & Zumbaugh, M. D.** (2024). Skeletal muscle metabolic characteristics and fresh meat quality defects associated with wooden breast. *Frontiers in Physiology*, 15, 1501362. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1501362>.
- **Valenta, J., Siddique, A., Tůmová, E., Slavíček, O., & Morey, A.** (2023). White striping, woody breast and spaghetti meat: Cooccurrence and relationship with breast fillet weight in big broiler chicken flocks. *Czech Journal of Animal Science*, 68(3), 129–140. <https://doi.org/10.17221/173/2022-CJAS>.
- **Wang, D., Dong, B., Xing, T., Xiang, X., Zhao, L., Gao, F., & Zhang, L.** (2025). Effects of dietary metabolizable energy density and inclusion of oxidized soybean oil on the growth performance, serum biochemical parameters, redox status, and wooden breast incidence of broilers. *Journal of Animal Science*, 103, skaf086. <https://doi.org/10.1093/jas/skaf086>.
- **Wang, Y., Li, B., Jian, C., Gagaoua, M., Estévez, M., Puolanne, E., & Ertbjerg, P.** (2025). Oxidative stress-induced changes in wooden breast and mitigation strategies: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24, e70148. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70148>.
- **Zhao, D., Song, Z., Shen, L., Xing, T., Ouyang, Q., Zhang, H., He, X., & Kang, K.** (2024). Single-cell transcriptomics and tissue metabolomics uncover mechanisms underlying wooden breast disease in broilers. *Poultry Science*, 103(12), 104433. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104433>.