

TENDENCIAS DE MERCADO Y DESAFÍOS ASOCIADOS AL PROCESADO Y A LA CALIDAD DE PRODUCTO DE LA CARNE DE POLLO

Casey M. Owens, Ph.D.
University of Arkansas, Fayetteville, AR, USA
cmowens@uark.edu

1.- TENDENCIAS DEL MERCADO DE BROILERS EN EEUU

En los Estados Unidos, la carne de pollo es muy popular y de hecho es la proteína más consumida. En 2013, los americanos consumieron 45 kg per capita, más que ningún otro país (NCC, 2014). Para cubrir una demanda tan alta, se produjeron 8500 millones de pollos durante el último año (USDA-NASS, 2014). Aproximadamente un 95% de estos broilers son producidos en granjas familiares y adquiridos por compañías especializadas. Los broilers son comercializados bien como pollo entero, bien troceados o procesados adicionalmente. A lo largo del tiempo, el mercado del pollo se ha reducido sustancialmente, pero se ha estabilizado en la actualidad en alrededor de un 10%. La demanda para as adores contribuye a mantener este mercado de pollo entero. El mercado de pollo troceado se ha incrementado significativamente desde los años 1960-1990 mientras que el mercado del procesado adicional desde mediados de los 80, habiendo ya superado el de pollo troceado y suponiendo en la actualidad cerca de un 50% del total, con respecto a un 40% del pollo troceado. Estos broilers son comercializados en un amplio rango de pesos (entre 1 y 4,5 kg), en función del tipo de producto.

La carne de pechuga deshuesada es un producto popular de la industria avícola. Es una forma básica de añadir valor económico. La carne de pechuga de pollo se usa de diversas formas, incluyendo la venta al por menor, el procesado y comidas preparadas. Aunque tanto en EEUU como en otros países varíe la cantidad de carne de pechuga en el mercado, siempre es o será un producto de primera importancia dependiendo de los ingresos de las familias. A

medida que la renta aumenta, los consumidores generalmente adquieren más productos Premium, y esto incluye la carne de pechuga junto a productos procesados de forma adicional.

Debido a la popularidad de la carne de pechuga deshuesada, los mejoradores genéticos han seleccionado estirpes de crecimiento rápido y mayor proporción de pechuga. Como resultado, Zuidhof et al. (2014) reportaron que desde 1957 hasta 2005 los pesos de los pollos se habían multiplicado por cuatro broiler y la producción de pechuga (*Pectoralis major*) se había incrementado en aproximadamente un 80%. En la actualidad, muchas estirpes se utilizan en función de sus características de crecimiento, aptitud reproductiva, salud, productividad, etc. En los últimos años, los procesadores han utilizado aves de altos rendimientos para incrementar su productividad y la eficiencia de la mano de obra. En los EEUU, el peso medio de los pollos en este segmento es ahora de aproximadamente 3,4 kg, pero oscila entre los 2,7 y los 4 kg o más. El mercado de pollos de mayor tamaño (> 2,7 kg) constituye un 55% del total (en base al número de cabezas producidas) con un 24% correspondiente a aves de 3,7 kg. Este último segmento (> 3,7 kg) ha crecido hasta constituir un 68% del total de carne producida. Esta tendencia es probable que continúe en los próximos años, tanto en EEUU como en otros países.

Además de la mejora de los rendimientos de crecimiento de los pollos, los métodos de procesado también han mejorado o se han modificado con el tiempo, lo que ha resultado en cambios en la calidad de los productos. La calidad de la carne puede definirse de diversas formas y juega un papel fundamental, ya que está relacionada con la aceptación por parte del consumidor. Los principales aspectos a valorar incluyen los que determinan a atributos sensoriales tales como la apariencia, capacidad de retención de agua, color y ternura. Algunos cambios en estas características se deben al broiler y su ambiente, mientras que otros están relacionados con los métodos de procesado. Algunos cambios en la calidad pueden considerarse defectos y pueden conducir a productos descartables enteramente o en parte, o a productos con menor calidad/funcionalidad y/o menor aceptación para los consumidores. Estos problemas pueden causar pérdidas anuales de millones de dólares a la industria.

2.-WHITE STRIPING (ESTRÍAS BLANQUECINAS)

Un aspecto de creciente importancia en los últimos años en el mercado avícola es la aparición de estrías blanquecinas en la carne de la pechuga (white stripping), especialmente en las aves de mayor tamaño. También puede observarse en los muslos. Este es un problema emergente en EEUU y otros países productores, como Brasil y la UE. Se caracteriza por la presencia de estas estrías, de forma paralela a las fibras musculares de la superficie ventral (en la zona de la piel), a menudo comenzando en la zona más próxima a las alas, donde están más concentradas. Las estrías son visibles a lo largo de los filetes incluso en casos moderados, pudiendo llamar la atención cuando las líneas son muy prominentes. En los casos más severos, las bandas o estrías son visibles a través del filete y hacerse más anchas. Otros informes de la industria muestran que en casos extremos el área 'blanca' puede cubrir una zona mucho más extensa (no sólo estrías).

En un examen histológico, las áreas estriadas se caracterizan por un aumento de las células grasas (lipidosis) y del tejido conectivo (fibrosis) junto con zonas de degeneración de la fibra muscular. Es probable que la grasa y el tejido conectivo infiltren las áreas donde se produce la degeneración fibrosa. En los filetes donde se aprecian estrías más pronunciadas, se han observado elevados niveles de enzimas relacionadas con el daño muscular, tales como la creatina quinasa. Análisis proximales han mostrado además un incremento de la proporción de grasa y una disminución de la de proteína. Otro estudio sugiere que el white striping no está relacionado con procesos infecciosos, inflamatorios o situaciones de estrés a partir de la evaluación de los perfiles hematológicos de aves normales o severamente afectadas.

2.1.- Incidencia

En los últimos años hemos observado frecuencias variables de filetes con white striping. Observaciones personales sugieren que el problema se está agravando. Hace aproximadamente cinco años, alrededor de un 50% de los filetes de broilers de 60 días mostraban algún grado (moderado o severo) de estrías, pero en un estudio reciente con aves pesadas de 61 días se apreció que un 95% de las aves presentaban problemas moderados o severos. Mientras que la clasificación ‘moderada’ es todavía la predominante, aproximadamente un 30% de los filetes se clasificó con problemas ‘severos’. Análogamente, un trabajo reciente realizado en Italia ha mostrado que sobre 28.000 broilers comerciales encuestados entre 45 y 54 días de edad, un 12% exhibían white striping (Petracci et al., 2013). Las diferencias entre estudios se explican probablemente por variaciones en la edad de las aves y de su velocidad de crecimiento.

2.2.- Tamaño corporal y velocidad de crecimiento.

Estudios previos y observaciones hechas por la industria indican que este problema está asociado con crecimientos rápidos y un mayor peso de las aves (broilers de alto rendimiento en pechuga). Una alta incidencia (>50%) de white striping se ha observado en broilers de aproximadamente 60 días de edad (Kuttappan et al., 2013c). En otro estudio reciente, aproximadamente un 95% de los pollos de 61 días de edad mostraron white striping. Otros trabajos han demostrado que la incidencia de white striping en la pechuga aumenta cuando los pollos se procesan a mayor edad y/o a mayor peso (e.g., 8 vs. 6 semanas; Bauermeister et al., 2009). Bauermeister et al. (2011) y Petracci et al. (2013) también indicaron que aves con mayor rendimiento en pechuga presentaban una mayor incidencia de este problema con respecto a broilers de características estándar. Además, los machos tienden a presentar una mayor incidencia y severidad que las hembras, pero este efecto está probablemente relacionado con el mayor peso corporal y tamaño de los filetes (Kuttappan et al., 2009). Aunque la incidencia del problema está asociada con los broilers más pesados, no parece haber un efecto estirpe. Las diferencias que pueden existir entre estirpes son probablemente debidas a diferencias en la velocidad de crecimiento o de la proporción de pechuga.

Una mayor velocidad de crecimiento ha sido asociada a una mayor incidencia de white striping (Kuttappan et al., 2012a). Las tendencias en la industria en las últimas décadas se han dirigido hacia la producción de broilers de alto rendimiento en pechuga a un peso típico de mercado que se consigue en un corto periodo de tiempo. Desde 1957, el peso de mercado se ha multiplicado por cuatro (de 0,9 a 3,6 kg) para la misma duración del periodo de cebo (Zuidhof et al., 2014). La proporción de pechuga también se ha incrementado sensiblemente durante este periodo. La tendencia más reciente es hacia un aumento del peso de sacrificio a mayor edad, para mejorar el rendimiento del troceado y del procesado posterior. Por tanto, es probable que la incidencia de casos moderados y severos de white striping se incremente en el futuro.

2.3.- Calidad de la carne

Estudios iniciales realizados en nuestro Departamento sugieren que los atributos generales de calidad no fueron afectados sustancialmente en situaciones de white striping. Kuttappan et al. (2009) evaluaron la capacidad de retención de agua, el color y la ternura, sin observar diferencias significativas con aves que no presentaron problemas. Si embargo, Kuttappan et al. (2013c) mostraron que el valor b^* estuvo relacionado con casos severos de estrías blanquecinas en los filetes. De forma similar el trabajo de Petracci et al. (2013) encontró un aumento de los valores b^* con la severidad del striping. Petracci et al. (2013) también reportaron que las pérdidas durante el cocinado eran superiores. Algunas diferencias entre estos estudios pueden estar relacionadas con cambios en otros factores tales como el tiempo de deshuesado o los parámetros de cocinado. Además, Petracci et al. (2013) evaluaron las propiedades del marinado de los filetes estriados y observaron que la capacidad de retención de agua y las pérdidas durante el proceso resultaron afectadas negativamente en los filetes que mostraban síntomas más severos. Debido a la limitada disponibilidad de datos experimentales disponibles, se requiere más investigación en este área de calidad de la carne, especialmente en el caso de situaciones de síntomas severos.

2.4.- Apariencia

Dado que las estrías blanquecinas son visualmente aparentes en los filetes crudos, se ha evaluado su aceptabilidad por los consumidores en estudios de cata sensorial (Kuttappan et al., 2012b). Los resultados mostraron que ésta disminuía significativamente a medida que aumentaba la severidad del problema. La principal razón para el rechazo fue la apariencia grasa o ‘marmórea’ del producto. Estos resultados son importantes ya que la aceptación por parte de los consumidores puede tener un impacto importante en sus decisiones de compra. Los consumidores han asociado siempre a la carne de pollo con un producto magro y saludable. Un incremento del contenido en grasa intramuscular, especialmente de la grasa más visual, conduciría a una menor aceptación en el mercado. En los EEUU, los filetes frescos, crudos, son habituales, con un tamaño de los filetes variable según marcas. Los filetes de los pollos más grandes pueden trocearse a tamaños más aceptables. Por tanto, los filetes grandes afectados por la presencia de estrías pueden aún ser comercializables en el mercado de venta de carne fresca.

2.5.- Efectos nutricionales

Kuttappan et al. (2012a) evaluaron la velocidad de crecimiento de broilers (Cobb 500) para determinar los efectos del white striping. En este estudio, se compararon dietas con alta y baja energía para modificar la ganancia de peso. En el pienso rico en energía, la concentración de EM varió entre 3200-3250 kcal/kg (arranque-acabado) con niveles de PB de 24-22%, mientras que en el pobre en energía la concentración de EM fue de 3000-3050 kcal/kg y el de PB de 21.5-19%. Los broilers que recibían el pienso de alta energía (HED) alcanzaron niveles significativamente superiores tanto de peso vivo como de filetes (9 y 11% más, respectivamente) para un periodo experimental comprendido entre los 18 y los 54 días de edad con respecto a los que recibían el pienso de baja concentración energética (LED). Tal como se esperaba, la conversión mejoró en los pollos alimentados con piensos HED con respecto a los piensos LED (2.08 vs. 2.28, respectivamente). Sin embargo, hubo una mayor incidencia de casos severos de filetes que mostraban white striping. Es importante hacer notar que los broilers solo crecieron hasta los 54 días. La situación habría sido más severa si las aves hubieran continuado su crecimiento durante un periodo más largo.

La actual situación de incidencia de white striping tiene características similares a la observada en pollos hace muchos años por una deficiencia de vitamina E que resultó en distrofia muscular (Dam, 1952). Sin embargo, los casos actuales de white striping se están produciendo en pollos que reciben niveles adecuados de esta vitamina en base a las recomendaciones del NRC. No obstante, se ha hipotetizado que aves de crecimiento rápido pueden tener necesidades superiores de vitamina E para su ganancia de peso muscular. Por ello, Kuttappan et al. (2012c) evaluaron el efecto de varios niveles de esta vitamina, entre 15 y 400 UI/kg de pienso, y determinaron que no existía relación con la incidencia de casos moderados o severos de white striping en broilers.

En cualquier caso es necesario investigar estrategias nutricionales para la prevención de este problema sin empeorar los rendimientos productivos, ya que la ganancia de peso y los pesos finales de mercado tienen un gran efecto sobre la incidencia y la severidad de white striping. A corto plazo, encontrar un equilibrio entre productividad y calidad del producto final puede ser necesario para reducir la severidad de los síntomas.

2.6.- Woody breast (pechuga de madera)

Otro problema emergente es el conocido como 'pechuga de madera'. En el momento actual los conocimientos sobre él son escasos. Sin embargo, está mundialmente extendido especialmente en pollos de alto rendimiento en pechuga. Se caracteriza por un tejido de pechuga que resulta duro al tacto, de forma similar a si el músculo estuviera tenso o contraído. Esta dureza puede apreciarse en el periodo post-mortem, pero también en el pollo vivo antes de ser procesado e incluso por palpación a las pocas semanas de iniciarse el periodo de cebo. El grado de dureza puede valorarse subjetivamente mediante un sistema de puntuación que permite clasificar los filetes. Algunos filetes están endurecidos en toda

su longitud con una flexibilidad muy limitada mientras que en otros se aprecia cierta flexibilidad en la parte central. Alguna veces se ha descrito también la existencia de una rugosidad en las partes distales del filete. No hay datos de incidencia pero hay observaciones puntuales de hasta un 50% en algunas granjas. Sin embargo, es probable que la proporción de casos severos sea mucho más baja. A menudo, la observación es paralela a la de white striping, especialmente en los mercados de aves más pesadas. Sihvo et al. (2013) reportaron simultáneamente signos histológicos de degeneración de las miofibrillas y acumulación de tejido conectivo (i.e., fibrosis) que también se observan en casos de white striping. Resulta por tanto necesario obtener más información sobre este proceso por separado del de white striping. No está claro si ambos están relacionados o si simplemente ambos ocurren con mayor frecuencia en situaciones de elevada ganancia de peso en conjunción con cambios en la genética, nutrición u otros. En cualquier caso, esta situación puede causar potencialmente problemas con algunos métodos de procesado, tales como el deshuesado, el troceado, o incluso el marinado. Investigaciones más recientes (Petracci, M., 2014, comunicación personal; Owens, 2014, datos no publicados) han observado una peor absorción de la salsa del marinado y un aumento de las pérdidas de cocinado (tanto en el no-marinado como en el marinado).

3.-CARNES PÁLIDAS, BLANDAS O EXUDATIVAS

Las carnes pálidas, blandas y exudativas (PSE) son cada vez más frecuentes en la industria avícola en los últimos 20 años. La carne PSE se caracteriza por un color pálido, y la formación de geles blandos al ser cocinada con poca capacidad de retención de agua. En pollos este tipo de carne está asociado con situaciones de estrés anteriores y posteriores al sacrificio, tales como estrés térmico, prácticas de manejo previas al sacrificio, y sistemas de enfriado de las canales (McKee y Sams, 1997, 1998; Alvarado y Sams, 2002). Sin embargo, el estrés por calor es la principal causa y la incidencia de PSE aumenta como resultado durante los meses de verano. Las aves estresadas son susceptibles a un metabolismo acelerado y a una mayor velocidad de disminución del pH del músculo que normalmente ocurre con el desarrollo del rigor mortis (Owens et al., 2000a). El pH anormalmente bajo al principio del periodo post-mortem cuando la temperatura de la canal es todavía alta causa la desnaturalización de las proteínas musculares responsables del color del músculo y de la habilidad de la carne para retener agua durante el cocinado (Offer, 1991). Estas proteínas son también responsables de la firmeza de los geles que se producen a partir de las proteínas de la carne cuando se cuecen. Se ha estimado que esta carne PSE representa un 5-40% del total que se produce en la industria (Barbut, 1996; Owens et al., 2000a) con un coste económico muy elevado.

El grado de severidad del problema puede variar y en los casos más extremos dar lugar a productos defectuosos, como el pastel de carne, en términos de capacidad de retención de agua. En situaciones severas se producen pérdidas de un 20-30% durante el cocinado y resultar en la rotura del pastel de carne, lo que afecta a su facilidad de loncheado. En situaciones moderadas, los rendimientos son los más afectados. Los remedios pasan por el uso

de ingredientes funcionales (e.g., almidón, gomas, fosfatos) que pueden ayudar a mejorar la capacidad de retención de agua de las carnes PSE, aunque los resultados son variables. Sin embargo no hay una evidencia clara que apoye el ajuste del pH para revertir el problema (Woelfel y Sams, 2001; Gorsuch y Alvarado, 2002). Un fosfato de elevada alcalinidad puede mejorar la capacidad de retención de agua de una carne PSE, pero no completamente. Además, los fosfatos alcalinos pueden dar lugar a problemas de coloración rosada después del cocinado, por lo que su uso no está normalmente recomendado. El uso de almidón modificado en la salsa de marinado reduce con éxito las pérdidas durante el cocinado (Cavitt y Owens, 2001). Zhang y Barbut (2005) también reportaron que el uso de almidón modificado permitía reducir estas pérdidas, relacionando este efecto con la compensación de la pérdida de funcionalidad de la proteína de las carnes PSE. Sin embargo, con la tendencia creciente hacia el consumo de productos 'naturales' o label, con un grado mínimo de procesado, la inclusión de ingredientes funcionales puede constituir un problema por sí mismo. Esto puede limitar las gomas, almidones, fosfatos o distintos tipos de sal utilizados en las formulaciones.

Debido a que la carne pálida está altamente correlacionada con una baja capacidad de retención de agua, es posible que sea necesario separar la carne PSE cuando el producto requiere proteínas altamente funcionales, como es el caso del pastel de carne. La carne pálida puede ser un problema en productos donde no constituye un problema (hamburguesas, empanadillas) o en formulaciones que contienen ingredientes o condiciones para restaurar la funcionalidad de las proteínas y su capacidad de retención de agua (e.g. almidones). La experiencia indica que la carne PSE causa los principales problemas en productos que incluyen el músculo completo a los que no se añade o se añaden cantidades pequeñas de sal y fosfatos. Estos ingredientes ayudan a mantener el agua en la carne y por tanto a reducir las pérdidas durante el cocinado. El proceso de clasificación puede hacerse en base al color del filete que está negativamente relacionado con su capacidad de retención de agua y requiere de un valor umbral para claridad de la carne (o pH) por encima del cual (o por debajo del pH elegido) la carne se considera potencialmente PSE. Varios investigadores han usado valores umbral de L^* entre 49 y 54 para identificar carne PSE (Barbut, 1997; McCurdy et al., 1996; Owens et al., 2000a; Quio et al., 2001; Woelfel et al., 2002). Owens et al. (2000a) usaron un valor umbral de $L^* > 53$ porque fue repetidamente el límite inferior de medidas de L^* obtenidas en varios grupos de filetes pálidos y también el valor que se corresponde con una disminución de la capacidad de retención de agua. Usando este umbral ($L^* > 53$), la incidencia de PSE se estimó en un 40% en una planta comercial de pavos (Owens et al., 2000a). Incluso aunque la claridad de la carne en un matadero puede variar con la partida y la estación, tales valores umbrales son una herramienta útil para monitorizar la incidencia de PSE en una planta comercial. Sin embargo, el valor L^* umbral debe ser determinado para cada procesadora dependiendo del producto y de la estacionalidad del problema.

4.-TERNURA DE LA CARNE DE LA PECHUGA

La ternura de la carne de pechuga de broilers es uno de los atributos más importantes para los consumidores. Los pollos se han considerado tradicionalmente como un producto típicamente tierno. Sin embargo, hay factores que pueden influir negativamente en la ternura de la carne, incluyendo el tiempo de deshuesado, la edad del ave y la humedad del producto. En las últimas dos décadas se han producido algunos cambios en la producción y procesado de los broilers, tales como la disminución de la edad de las aves, incremento de su tamaño, técnicas de marinado, que han hecho que la relevancia de estos factores sea más o menos importante. En conjunto, hay una tendencia hacia una disminución de la ternura de los filetes de pechuga de los pollos en la industria de EEUU.

A medida que se ha desarrollado la industria de la carne de pollo, una de las formas más simples de añadir valor ha sido deshuesar la carne. Inicialmente, este proceso se hacía comúnmente en cualquier momento entre las 8 y las 24 h post-mortem para permitir la maduración de la carne en contacto con el hueso durante un periodo de tiempo. Este proceso de maduración permitía que se completase el rigor mortis y subsecuentemente, la obtención de un producto tierno. Sin embargo, la maduración de las canales antes del deshuesado era (y es) costosa debido a necesidades intrínsecas de refrigeración y mano de obra y a la pérdida de producción. Por tanto, en los últimos 20 años, los periodos de maduración se han acortado considerablemente para permitir un aumento del rendimiento del producto en orden a satisfacer la demanda de carne de pechuga asociado a un deshuesado más temprano. Mientras que hay beneficios económicos relacionados con una reducción del tiempo de maduración, estos sistemas no siempre permiten completar el rigor mortis antes del deshuesado. Cuando éste se produce antes de alcanzar el rigor mortis, el músculo puede contraerse debido al insuficiente aporte de energía que permanece en el músculo cuando se aplica el estímulo. Los sarcómeros, unidades básicas de contracción muscular, se acortan durante la contracción. Esto resulta en un músculo más denso debido al solapamiento de más miofibrillas y, por tanto, una carne más dura cuando se cocina. Como consecuencia de efecto de endurecimiento, se ha recomendado que las canales de los broilers se maduren durante al menos 4-6 h antes de ser deshuesadas para permitir que las reservas de energía se reduzcan suficientemente. Está bien documentado que la ternura (medida por el esfuerzo cortante) mejora con el tiempo de maduración antes del deshuesado. Además, la variación de la ternura entre filetes es mucho mayor cuando éstos son deshuesados excesivamente pronto. Esta variación disminuye cuando el tiempo de maduración aumenta. Esto conduce a la percepción por parte del consumidor de la ternura del filete. En un estudio de cata, cuando los broilers eran deshuesados a las 2 h post-mortem un 70% de los consumidores consideraban la carne 'demasiado dura' frente a menos de un 20% cuando el periodo de maduración se incrementaba hasta las 24 h (Cavitt et al., 2005).

Sin embargo, en las condiciones actuales, el tiempo típico de maduración es de 4 a 6 h y resulta incluso excesivo para muchos procesadores si pretenden racionalizar su

proceso al máximo posible. Muchos procesadores en EEUU están deshuesando la carne de pechuga inmediatamente de su refrigeración, es decir sólo dos horas después del sacrificio. Mientras que esto puede mejorar los rendimientos y reducir costos asociados a la mano de obra y almacenamiento, el deshuesado precoz puede afectar negativamente la ternura de la carne. La edad de las aves puede también influir en la ternura (Brewer y Owens, 2013; Brewer et al., 2014). Los pollos de mayor edad tienden a ser ligeramente más duros que los más jóvenes debido a la solubilidad del colágeno y/o a propiedades de las fibras musculares tales como el diámetro de las fibras. Aunque hay una compensación entre términos económicos y de calidad, hay algunas otras formas de proporcionar un producto tierno incluso cuando el deshuesado se hace precozmente, como por ejemplo la estimulación eléctrica y el marinado.

5.-CONCLUSIÓN

A medida que la ganancia de peso y el rendimiento en pechuga mejoran en los modernos pollos broiler, hay un incremento paralelo de canales defectuosas. Muchos de estos defectos están relacionados con la velocidad de crecimiento. A corto plazo, los procesadores tienen que lidiar con ello y continuar obteniendo productos aceptables. La comercialización de músculos completos continuará siendo la más afectada en términos de reducción de la funcionalidad, principalmente de la capacidad de retención de agua. Sin embargo, para algunos de estos defectos es posible clasificar las canales y dirigir las más afectadas hacia productos de carne molida, que son menos afectados por la apariencia o la menor funcionalidad. A largo plazo es importante continuar investigando para determinar las causas últimas de estos problemas al objeto de reducir su incidencia o su severidad.

6.-REFERENCIAS

- ALVARADO, C. Z., y A. R. SAMS. 2002. *Poult. Sci.* 81:1365–1370.
- BARBUT, S. 1996. *Can. J. Anim. Sci.* 76:455–457.
- BARBUT, S. 1997. *Br. Poult. Sci.* 38:74–77.
- BAUERMEISTER, L.J., A.U. MOREY, E.T. MORAN, M. SINGH, C.M. OWENS, y S.R. MCKEE. 2009. *Poult. Sci.* 88 (Suppl.1): 104 (Abstr.)
- BAUERMEISTER, L.J., A. MOREY, C.M. OWENS, E.T. MORAN, y S.R. MCKEE. 2011. *Poult. Sci. Meeting Abstr.* 51
- BREWER-GUNSAULIS, V.B., y C.M. OWENS. 2013. *Poult. Sci.* 92 (E-Suppl. 1):147 (Abstr.).
- BREWER-GUNSAULIS, V.B., B. POTTER, y C.M. OWENS. 2014. *Poult. Sci.* (Abstr.)
- CAVITT, L. C., y C. M. OWENS. 2001. *Poult. Sci.* 80(Suppl. 1):137. (Abstr.)
- CAVITT, L.C., J-F.C. MEULLENET, R. XIONG, y C. M. OWENS. 2005. *J. Muscle Foods* 16:223-242.
- DAM, H., I. PHANGE, y E. SONDERGAARD. 1952. *Acta Pathol. Microbiol. Scand.* 31:172–184.

- GORSUCH, V. A., y C. Z. ALVARADO. 2002. Postrigor tumble marination strategies for improving color and water holding capacity in normal and PSE broiler breast fillets. Page 207 in *Annual Meat and Food Expo*, Anaheim, CA. Institute of Food Technologists, Chicago, IL.
- KUTTAPPAN, V. A., V.B. BREWER, F.D. CLARK, S.R. MCKEE, J.F. MEULLENET, J.L. EMMERT, y C.M. OWENS. 2009. *Poult. Sci.* 88 (Suppl.1): 447P (Abstr.)
- KUTTAPPAN, V. A., V.B. BREWER, F.D.. W. WALDROUP, y C. M. OWENS. 2012a. Influence of growth rate on the occurrence of white striping in broiler breast fillets. *Poult. Sci.* 91:2677-2685
- KUTTAPPAN, V.A., Y. S. LEE, G. F. ERF, J-F. C. MEULLENET, S. R. MCKEE y C. M. OWENS. 2012b. *Poult. Sci.* 91:1240-1247
- KUTTAPPAN, V.A., S. D. GOODGAME, C. D. BRADLEY, A. MAUROMOUSTAKOS, B.M.HARGIS, P. W. WALDROUP y C. M. OWENS. (2012c). *Poult. Sci.* 91:3230-3235
- KUTTAPPAN, V.A., G. R. HUFF, W. E. HUFF, B. M. HARGIS, J. K. APPLE, C. COON y C. M. OWENS. 2013a. *Poult. Sci.* 92:339-345
- KUTTAPPAN, V.A., H. L. SHIVAPRASAD, D. P. SHAW, B. A. VALENTINE, B. M. HARGIS, F. D. CLARK, S. R. MCKEE, y C. M. OWENS. 2013b. *Poult. Sci.* 92:331-338
- KUTTAPPAN, V.A, V.B. BREWER, A. MAUROMOUSTAKOS, S. R. MCKEE, J.L. EMMERT, J.F. MEULLENET, y C. M. OWENS. 2013c. *Poult. Sci.* 92:811-819
- MCCURDY, R. D., S. BARBUT, y M. QUINTON. 1996. *Food Res. Int.* 29:363–366.
- MCKEE, S. R., y A. R. SAMS. 1997. *Poult. Sci.* 76:1616–1620.
- MCKEE, S. R., y A. R. SAMS. 1998. *Poult. Sci.* 77:169–174.
- NATIONAL CHICKEN COUNCIL. 2014. U.S. Broiler Performance. <http://www.nationalchickencouncil.org/about-the-industry/statistics/u-s-broiler-performance/> Accessed September 2014.
- OFFER, G., 1991. *Meat Sci.* 30:157-184.
- OWENS, C. M., E. M. HIRSCHLER, S. R. MCKEE, R. MARTINEZ-DAWSON, y A. R. SAMS. 2000a. *Poult. Sci.* 79:553–558.
- OWENS, C. M., S. R. MCKEE, N. S. MATTHEWS, y A. R. SAMS. 2000b. *Poult. Sci.* 79:430–435.
- OWENS, C. M., and A. R. SAMS. 2000. *Poult. Sci.* 79:1204–1207.
- PETRACCI, M., S. MUDALAL, A. BONFIGLIO, y C. CAVANI. 2013. *Poult. Sci.* 92 : 1670-1675.
- QIAO, C., D. L. FLETCHER, D. P. SMITH, y J. K. NORTHCUTT. 2001. *Poult. Sci.* 80:676–680.
- SIHVO, H.-K., K. IMMONEN, y E. POULANNE. 2013 *Vet. Path.* 00(0)1-5. DOI: 10-1177/0300985813497488
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, NATIONAL AGRICULTURE STATISTICS SERVICE. 2014. Broiler production by state. http://www.nass.usda.gov/Charts_and_Maps/Poultry/brlmap.asp. Accessed October 2014
- WOELFEL, R. L., y A. R. SAMS. 2001. *Poult. Sci.* 80:1519–1522.

ZHANG, L., y S. BARBUT. 2005. *Poult. Sci.* 84:789–796.

ZUIDHOF, M.J., B. L. SCHNEIDER, V.L. CARNEY, D. R. KORVER, y F.E. ROBINSON. 2014. *Poult. Sci.* 93 :1-13.

FEDNA