

Efecto del estrés por calor y tiempo de espera *ante mortem* en las características fisicoquímicas y la calidad de la carne de pollo

Effect of heat stress and holding time *ante-mortem* on the physicochemical and quality characteristics of chicken meat

Y Bautista^{a*}, C Narciso^b, A Pro^a, AS Hernández^b, CM Becerril^a, E Sosa^c, J Velasco^b

^aColegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México.

^bColegio de Postgraduados, Campus Córdoba, México.

^cDepartamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, México.

SUMMARY

The effect of heat stress and holding time was evaluated before slaughter in the development of *rigor mortis* and physicochemical characteristics of meat in chicken *Pectoralis major*. The treatments were: two and eight hour holding before slaughter at temperature 24 °C (2HE24C, 8HE24C) and two hours holding before slaughter at 40 °C (2HE40C). For the *rigor mortis* development were measured the pH, color indices L*, a* and b* at 0.25, 1, 2, 4, 8, 24, 48, 96 and 144 h in 90 chickens. For the physicochemical characteristics, and other 90 chickens were slaughtered and the pH, color, water holding capacity (WHC), drip lost (DL), shear force (SF) and cook yield (CY) in meat were measured at 24 hours *post mortem*. The pH and indices measured color over time showed differences between treatments (P < 0.05). The physicochemical characteristics showed differences between treatment (P < 0.05) with a higher DL, lower WHC and PC, harder texture, low pH and rates of L* and b* being high for the meat of 2HE40C, while the opposite happened with the meat of 8HE24C. When broilers are subjected to heat stress conditions, a pale, soft, and exudative (PSE) meat is obtained, and long waiting induces dark, firm, and dry (DFD) meat. The holding time prior to slaughter of 2 h at room temperature does not adversely affect the quality of the meat.

Key words: heat stress, holding time, meat quality.

RESUMEN

Se evaluó el efecto del estrés por calor y tiempo de espera antes de la matanza en el desarrollo de *rigor mortis* y las características fisicoquímicas de la carne del *Pectoralis major* en pollo. Los tratamientos fueron: dos y ocho horas de espera a la matanza a temperatura ambiente 24 °C (2HE24C, 8HE24C) y dos horas de espera antes de la matanza a 40 °C (2HE40C). Para el desarrollo del *rigor mortis* se midió el pH, color L*, a* y b* a las 0,25, 1, 2, 4, 8, 24, 48, 96 y 144 h en 90 pollos. Para las características fisicoquímicas otros 90 pollos fueron sacrificados y se midió el pH, color, capacidad de retención de agua (CRA), pérdida por goteo (PG), resistencia al corte (RC) y rendimiento por cocción (RCO) en carne a las 24 horas *post mortem*. El pH y color medidos en el tiempo mostraron diferencias entre tratamientos (P < 0,05). Las características fisicoquímicas mostraron diferencias entre tratamiento (P < 0,05) siendo mayor la PG, menor la CRA y RCO, textura más dura, pH más bajos e índices de L* y b* altos para la carne de aves de 2HE24C, lo opuesto sucedió con la carne de aves de 8HE40C. Someter pollos de engorda a condiciones de estrés por calor induce a una carne PSE y a un tiempo de espera prolongado induce a una OFS. El tiempo de espera a la matanza de 2 h a temperatura ambiente no afecta negativamente la calidad de la carne.

Palabras clave: tiempo de espera, estrés por calor, calidad de carne.

INTRODUCCIÓN

El término calidad de carne se refiere a las propiedades deseables que posee un producto por los consumidores, de dichas características dependerá su aceptación por parte del consumidor. Las características fisicoquímicas son importantes para determinar la calidad de la carne (pH, capacidad de retención de agua, pérdida por goteo, color, textura y rendimiento), estas características pueden ser afectadas por factores de estrés *ante mortem* como

temperatura ambiental, tiempo de espera a la matanza, transporte, manipulación previo a la matanza, entre otros (Owens y Sams 2000, Yue y col 2010, Schneider y col 2012, Tang y col 2013).

El efecto del estrés por calor es importante debido a que causa cambios físicos y químicos *post mortem* en el músculo (Barbut 1997), induciendo el desarrollo de la condición pálida, suave y exudativa (PSE) en la carne (Barbut y col 2005, Wilhelm y col 2010, Malila y col 2013).

Estudios han demostrado el efecto negativo del estrés por calor en la calidad de la carne de diferentes especies como cerdo, pavo y pollo. En estas especies se ha demostrado que el estrés y calor provoca un bajo pH muscular (Northcutt y col 1994, Jones y col 2010, Tang y col 2013), producido por una acelerada glucólisis *post mortem*, cuando la canal

Acceptado: 18.08.2015.

* Km 36.5 Carretera México-Texcoco, Texcoco, Edo. México, C. P. 56230; Bautista.yuridia@colpos.mx

está caliente. Esto ocasiona la desnaturalización de las proteínas musculares miofibrilares y sarcoplásmicas (Honikel y Kim 1986) responsables del color de la carne, además de ocasionar una consistencia poco firme y apariencia pálida (Van-Laack y Lane 2000), produce una baja capacidad de retener agua y mayores pérdidas por goteo, ya que el pH tiene una acción directa en determinar el número de grupos reactivos de las proteínas y su capacidad de ligar agua (Debut y col 2003). Esto tiene como consecuencia una falta de jugosidad y por ende una textura relativamente dura (Zhang y col 2009, Yue y col 2010, Schneider y col 2012).

Este estrés por calor puede darse por hacinamiento durante el transporte o en unidades de producción (Kettlewell y col 1993, Gregory 2010). Este problema también se presenta en aves que son llevadas de las unidades de producción donde tuvieron condiciones de confort térmico durante la engorda, a plantas de procesamiento ubicadas en regiones donde las temperaturas son altas durante todo el año o alguna época como el verano, alcanzado temperaturas de hasta 45 °C, estas aves son sometidas a un estrés intenso por calor.

Los tiempos de espera prolongados es otra problemática a la que se enfrenta la industria de la carne avícola, siendo común que en épocas del año cuando la demanda aumenta, las aves llegan a las plantas de procesamiento y estas no cuentan con el equipo suficiente para matar a todas las aves en corto tiempo, o no programan adecuadamente la llegada de los camiones de las aves a procesar (Kettlewell 1994). Las aves son sometidas a tiempos de espera prolongados de más de 2-3 h, en casos severos hasta de 8 h (Gregory 1994). Estos son los principales problemas a los que se enfrenta la industria avícola, donde la preocupación es la reducción del rendimiento en canal (Barbut y Somboonpanyakul 1997). Sin embargo, se desconoce el efecto de los tiempos de espera prolongados sobre la calidad de la carne.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de estrés calórico y tiempo de espera a la matanza, sobre la calidad y características fisicoquímicas de carne de pollo.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Tecnología y Ciencia de la carne del Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, ubicado en el Municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. El clima predominante es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Am), temperatura media anual de 25 °C, alcanzando temperaturas máximas de 43 °C durante el verano (García 1998).

Se utilizaron un total de 180 pollos de la línea Ross 308 de seis semanas de edad y un peso vivo promedio de 2,8±0,1. Las aves se adquirieron de un proveedor comercial un día antes del experimento y fueron transportadas a las instalaciones de Colegio de Postgraduados, en jaulas de plástico por 10 minutos donde fueron liberadas en un corral (densidad 10 pollos m⁻²). El alimento se retiró 8 horas

antes de la matanza. Las aves fueron puestas en jaulas de plástico, con 12 pollos cada una (unidad experimental) y asignadas a cada tratamiento, con un total de 5 repeticiones por tratamiento. Los tratamientos evaluados fueron: tratamiento testigo 2 horas de espera a la matanza a temperatura ambiente ~24 °C (2HE24C), 2 horas de espera a la matanza con estrés calórico ~40 °C (2HE40C), y 8 horas de espera a la matanza a temperatura ambiente ~24 °C (8HE24C). Las aves expuestas a los 40 °C fue en una cámara de ambiente controlado y ventilación, durante el tiempo de espera la temperatura ambiente como la de ambiente controlado, se monitoreó con una datalogger (Modelo 1650, WatchDog, Industrial Drive E, Plainfield, USA).

DESARROLLO DEL *rigor mortis*

De cada unidad experimental se tomaron aleatoriamente seis aves, las que fueron sacrificadas como se hace de manera comercial, insensibilizando con aturdimiento eléctrico, con un cuchillo aturridor (MidwestVS200, USA) durante 5 segundos y 3 minutos de desangrado. Posterior al desangrado inmediatamente se removió el músculo *Pectoralis major*. Las muestras fueron almacenadas en refrigeración a 4 °C para realizar las mediciones de pH y color en los siguientes tiempos *post mortem*: 0,25, 1, 2, 4, 8, 24, 48, 96 y 144 h.

pH en músculo. El pH del músculo *Pectoralis major* en los diferentes tiempos *post mortem* se determinó mediante un potenciómetro equipado de un electrodo de punción (pH meter Mod HI 99163, Hanna, Texas, USA). La medida se realizó una vez calibrado el equipo con los tampones de pH 4,01 y 7,006, eligiendo para todas las muestras puntos similares en el músculo.

Color. El color se midió en los diferentes tiempos con el sistema Hunter Lab, utilizando un colorímetro (Mod CR-400/410, Minolta, Tokio, Japón) para las variables L* (luminosidad), a* (rojo-verde) y b* (amarillo-azul) (CIE, 1978).

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA CARNE

La calidad de la carne de las aves fue evaluada por medio del pH, color, capacidad de retención de agua (CRA), pérdida por goteo (PG), resistencia al corte (RC) y rendimiento por cocción (RCO) a las 24 horas *post mortem*. Para esto las seis aves restantes de cada unidad experimental se sacrificaron como se hace de manera comercial, insensibilizando con aturdimiento eléctrico con un cuchillo aturridor (MidwestVS200, USA) durante 5 segundos, cinco minutos de desangrado, escaldado a 59 °C durante 3,5 min, desplume y evisceración. Después de la evisceración las canales se enfriaron en agua con hielo durante 1 h. Posteriormente se removió la pechuga y se almacenó en refrigeración a 4 °C hasta las 24 horas *post mortem* para su evaluación.

pH en carne. Se pesaron 5 g de carne del músculo (*Pectoralis major*) por duplicado y se le agregaron 10 ml de agua bidestilada, se homogenizó por 2 minutos con un polytron (Mod PT-1200, Kinematica AG, Littau, Suiza). Posteriormente, se midió el pH de la mezcla con un potenciómetro (Mod pH 1100, Oaklon, Eutech instruments, Singapur), una vez calibrado el equipo a temperatura ambiente, con los tampones a pH 4,01 y 7,006. La media se reportó como resultado final.

Capacidad de retención de agua (CRA). La CRA se analizó utilizando la metodología descrita por Guerrero y col (2002) con algunos cambios. Se pesaron 5 g de carne finamente picada, se homogenizó con 8 ml de cloruro de sodio (J.T. Baker, Phillipsburg, NJ) 0,6 M durante un minuto con una varilla de vidrio; posteriormente, se dejó reposar en baño con hielo durante 30 min. El extracto se centrifugó durante 15 min a 10,000 r.p.m. El sobrenadante se decantó y se midió el volumen en una probeta. Se reportó la cantidad de ml de solución retenida en 100 g de carne.

Pérdida por goteo (PG). Se tomaron 30 g del músculo *Pectoralis major* y se colocaron colgando de un hilo en vasos de plástico. Posteriormente se almacenaron a 4 °C y se pesaron las muestras 24 h después. La pérdida por goteo a las 24 h *post mortem* se expresó como el porcentaje de pérdida de peso de la muestra respecto de su peso inicial.

Rendimiento por cocción (RCO). Se tomó la mitad del músculo *Pectoralis major*, se pesó y colocó en bandejas, cubriendo con papel aluminio. La carne se sometió a cocción hasta alcanzar una temperatura interna de 74 °C en horno de convección (Hobart, HEC-5, México). Al término de la cocción las muestras se enfriaron a temperatura ambiente por una hora y refrigeraron a 4 °C por dos horas y se volvieron a pesar. Los valores se expresaron como porcentaje de la muestra respecto de su peso inicial.

Fuerza de corte (FC). La resistencia al corte se midió en un texturómetro (Shimadzu, Mod EZ-SX, Japón) equipado con una celda Warner Bratzler, se utilizaron muestras de carne de pechuga, las que fueron almacenadas a 4 °C durante 24 h y luego cocinadas en un horno de convección (Hobart, HEC-5, México) hasta una temperatura interna de 74 °C. Se cortaron filetes de 10 mm (ancho) 10 mm (alto) y 50 mm (largo) en sentido de las fibras musculares, y posteriormente se analizaron en el texturómetro a una velocidad de la cuchilla de 300 mm min⁻¹ (Lyon y Lyon 1996).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para medir el efecto de los tratamientos durante el proceso de *rigor mortis* en pH y color a 0,25, 1, 2, 4, 8, 24, 48, 96, y 144 h *post-mortem*, se utilizó un modelo estadístico mixto con la inclusión de tratamientos y los

tiempos de muestreo anidados en dos periodos como fijos y el de ave como aleatorio. Los datos se analizaron con el procedimiento MIXED (SAS versión 9,3).

Las variables pH, color, textura, capacidad de retención de agua, pérdidas por goteo, rendimiento por cocción, resistencia al corte a las 24 h *post mortem*, se analizaron con un modelo estadístico mixto con la inclusión de tratamientos y tiempo como fijos y el ave como aleatorio. Las medias de tratamientos fueron comparadas con la prueba de Dunnet.

RESULTADOS

DESARROLLO DEL *rigor mortis*

En la figura 1 se observa que la caída del pH en las aves del tratamiento de 2 horas de espera a la matanza con estrés calórico a 40 °C (2HE40C) fue mayor respecto de los demás tratamientos con un valor promedio de las 0,25 h de 6,52 y descendió a 5,87 a las 24 h *post mortem*. Un efecto menos acentuado se observó con las aves sometidas a estrés con 8 h de espera a la matanza a temperatura ambiente 24 °C (8HE24C), ya que en estas el valor de pH promedio a las 0,25 h fue de 6,43 y de 6,17 a las 24 h. Las aves que fueron sometidas a 2 h de espera a la matanza a temperatura ambiente 24 °C (2HE24C) tuvieron un pH de 6,4 a 6,06 de las 0,25 a las 24 h *post mortem*.

En los tres tratamientos los valores de pH se estabilizaron a las 24 h *post mortem* y no se observaron diferencias ($P > 0,05$) entre tiempos dentro de tratamientos de las 24, 48, 96 y 144 h *post mortem*. Para las aves del tratamiento 2HE40C los valores de pH fueron de 5,88 a 5,87 de las 48 a 144 h *post mortem*. Para las aves del tratamiento 8HE24C los valores oscilaron de 6,18 a 6,17 de las 48 a 144 h *post mortem*. El mismo comportamiento se observó en las aves sometidas al tratamiento 2HE24C con valores de 6,08 a 6,06 de las 48 a 144 h *post mortem*.

En las figuras 1 y 2 se muestra el efecto de los tratamientos sobre el índice de L* (luminosidad) e índice de b* (amarillo) de las 0,25 a 24 h *post mortem* del músculo *Pectoralis major*, se observa que los valores de ambos índices van aumentando con el tiempo. Para el tratamiento 8HE24C los valores de L* y b* fueron menores de las 0,25 h hasta las 24 h *post mortem* respecto del tratamiento 2HE24C, un efecto contrario pasó con las aves sometidas a 2HE40C, ya que se obtuvieron valores mayores de L* y b* respecto de las aves sometidas a 2HE24C.

En los tres tratamiento los valores de L* y b* se estabilizaron a las 4 h *post mortem*. No se encontraron diferencias ($P > 0,05$) entre los tiempos dentro de los tratamientos de las 4 h a las 144 h *post mortem*. Para las aves del tratamiento 2HE40C los valores de L* fueron de 52,50 a 52,7 y para b* de 19,0 a 19,10 de las 48 a 144 h *post mortem*, mientras que para las aves que fueron sometidas a 8HE24C los valores oscilaron de 47,0 a 47,10 para L* y para b* de 13,0 a 13,10 de las 48 a 144 h *post mortem*. Para las aves

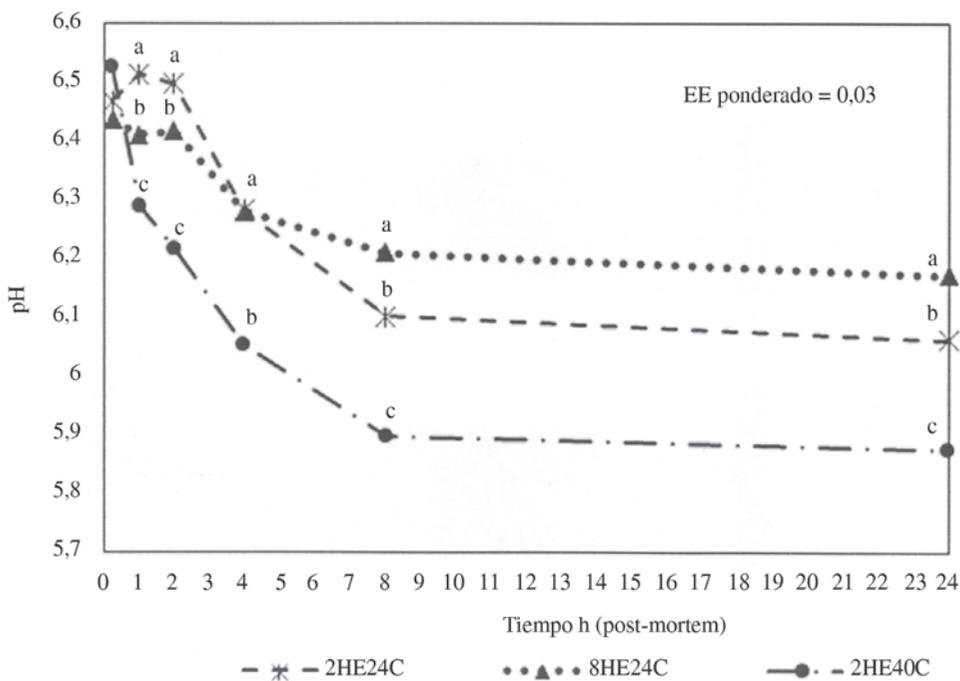


Figura 1. Evolución del pH en la pechuga de pollo en diferentes tiempos *post mortem*. 2HE24C = 2 h de espera a la matanza a temperatura ambiente (24 °C); 8HE24C = 8 h de espera a la matanza a temperatura ambiente (24 °C); 2HE40C = 2 horas de espera a la matanza con estrés calórico (40 °C). Tiempos con diferentes superíndices son significativamente diferentes (P < 0,05).

Evolution of pH values in chicken breast meat at different *post-mortem* times. 2HE24C = two hours of waiting to slaughter at room temperature (24 °C); 8HE24C = eight hours of waiting to slaughter at room temperature (24 °C); 2HE40C = two hours holding with heat stress (40 °C). Time with different superscript are statistically different (P < 0.05).

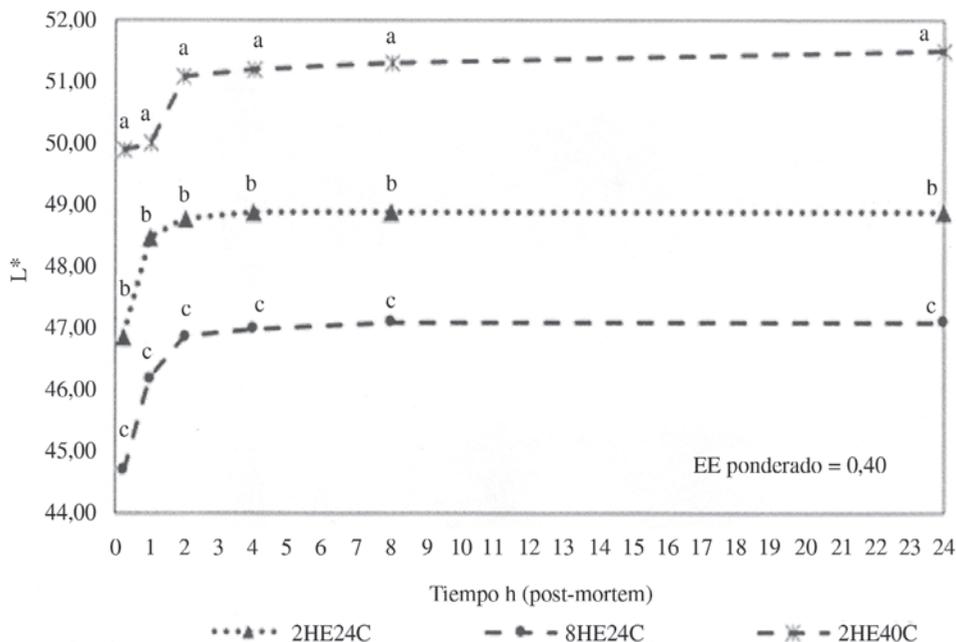


Figura 2. Evolución de la luminosidad en la pechuga de pollo en diferentes tiempos *post mortem*. 2HE24C = 2 h de espera a la matanza a temperatura ambiente (24 °C); 8HE24C = 8 h de espera a la matanza a temperatura ambiente (24 °C); 2HE40C = 2 horas de espera a la matanza con estrés calórico (40 °C). Tiempos con diferentes superíndices son significativamente diferentes (P < 0,05).

Evolution of L* lightness in chicken breast meat at different *post-mortem* times. 2HE24C = two hours of waiting to slaughter at room temperature (24 °C); 8HE24C = eight hours of waiting to slaughter at room temperature (24 °C); 2HE40C = two hours holding with heat stress (40 °C). Time with different superscript are statistically different (P < 0.05).

de 2HE24C los valores de L* fueron 48,0 a 48,9 y para b* de 15,3 a 15,90 de las 48 a 144 h *post mortem*.

En la figura 4 se observan los índices de a* valores mayores se observaron en el tratamiento de 8HE24C, mientras que los valores menores se encontraron en el tratamiento de 2HE40C y valores intermedios en carne de 2HE24C (figura 4).

CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA CARNE

El efecto de los tratamientos sobre las variables fisicoquímicas de la carne a las 24 h *post mortem* se muestran en el cuadro 1. El pH de la carne de aves sometidas al tratamiento 2HE40C fue menor respecto del tratamiento 2HE24C, y los valores de pH más altos se encontraron en las aves sometidas a 8HE24C. El tratamiento 2HE40C resultó en una reducción de la capacidad de retención de agua y rendimiento por cocción y un incremento en la pérdida por goteo en relación con los otros 2 tratamientos.

Respecto de la fuerza de corte el tratamiento de 2HE40C presentó valores mayores, valores intermedios presentó el tratamiento 2HE24C, y el tratamiento de 8HE24C horas de espera a temperatura ambiente presentó valores menores.

Lo valores de L* y b* a las 24 horas *post mortem* fueron mayores en el tratamiento de 2HE40C, seguidos por los tratamientos 2HE24C y 8HE40C. El índice de a* tuvo un comportamiento opuesto entre los tratamientos.

DISCUSIÓN

El estrés por calor *ante mortem* acelera la caída del pH en carne, datos similares son reportados por Tang y col (2013) quienes probaron diferentes periodos de estrés por calor en pollos, además encontraron valores de pH bajos de 5,6 a 5,8. Estos resultados son similares a los reportados por Barbut y col (2005) quienes indican que estos valores de pH son característicos de una carne pálida, suave y exudativa (PSE). Yue y col (2010), explican que la rápida disminución del pH y los valores bajos se deben a una degradación rápida del glucógeno a ácido láctico en el músculo inmediatamente después del sacrificio. Enfalt y col (1993), Lonergan y col (2010) mencionan que cuando se produce un estímulo neuromuscular por estrés se incrementa la concentración de Ca²⁺ mucho más que la necesaria para iniciar un ciclo de concentración y rebasa la capacidad de la bomba de calcio para restaurar la concentración de este ion a los valores del estado de reposo. Este súbito aumento de la concentración de Ca²⁺ en el sarcoplasma incrementa en el músculo la velocidad de recambio de ATP y la glucólisis, causando la aceleración del descenso del pH propia de los músculos. Una rápida producción de ácido láctico en el músculo después de la matanza cuando la canal tiene una alta temperatura causa desnaturalización de proteínas afectando las propiedades funcionales y calidad de la carne (Woelfel y col 2002). Un

Cuadro 1. Efecto del estrés por calor y tiempo de espera prolongado *ante mortem* en las características fisicoquímicas de la carne de pollo. Effect of *ante-mortem* heat stress and prolong holding time on the physicochemical and quality characteristics of chicken meat.

Variable	Tratamientos	Media	EE	
pH	2HE24C vs 8HE24C	6,05 ^a	6,35 ^b	0,05
	2HE24C vs 2HE40C	6,05 ^a	5,65 ^b	0,05
CRA (mL/100 g)	2HE24C vs 8HE24C	51,53	52,44	2,72
	2HE24C vs 2HE40C	51,53 ^a	32,33 ^b	2,78
PG (%)	2HE24C vs 8HE24C	3,90	3,60	0,21
	2HE24C vs 2HE40C	3,90 ^b	4,83 ^a	0,21
RC (%)	2HE24C vs 8HE24C	84,03	84,27	1,29
	2HE24C vs 2HE40C	84,03 ^a	75,45 ^b	1,32
FC (kg/ cm ²)	2HE24C vs 8HE24C	2,57 ^a	1,91 ^b	0,13
	2HE24C vs 2HE40C	2,57 ^a	3,54 ^b	0,14
L*	2HE24C vs 8HE24C	51,25 ^a	46,04 ^b	0,54
	2HE24C vs 2HE40C	51,25 ^b	56,10 ^a	0,55
a*	2HE24C vs 8HE24C	1,14 ^b	2,23 ^a	0,23
	2HE24C vs 2HE40C	1,14 ^a	0,002 ^b	0,23
b*	2HE24C vs 8HE24C	13,55 ^a	11,85 ^b	0,67
	2HE24C vs 2HE40C	13,55 ^b	16,40 ^a	0,68

^{a,b} Medias entre filas con diferentes superíndices son significativamente diferentes (P < 0,05). 2HE24C = 2 h de espera a la matanza a temperatura ambiente (24 °C); 8HE24C = 8 h de espera a la matanza a temperatura ambiente (24 °C); 2HE40C = 2 horas de espera a la matanza con estrés calórico (40 °C). L*= Luminosidad; a*= rojo; b*= amarillo; CRA = Capacidad de retención de agua; PG= Pérdida por goteo; RC = Rendimiento por cocción; FC = Fuerza de corte.

^{a,b} Means between rows with different superscript are statistically different (P < 0.05). 2HE24C = two hours of waiting prior to slaughter at room temperature (24 °C); 8HE24C = eight hours of waiting to slaughter at room temperature (24 °C); 2HE40C = two hours holding with heat stress (40 °C). L*=lightness; a*= redness; b*=yellowness; CRA= water holding capacity; PG= Drip loss; FC= shear force.

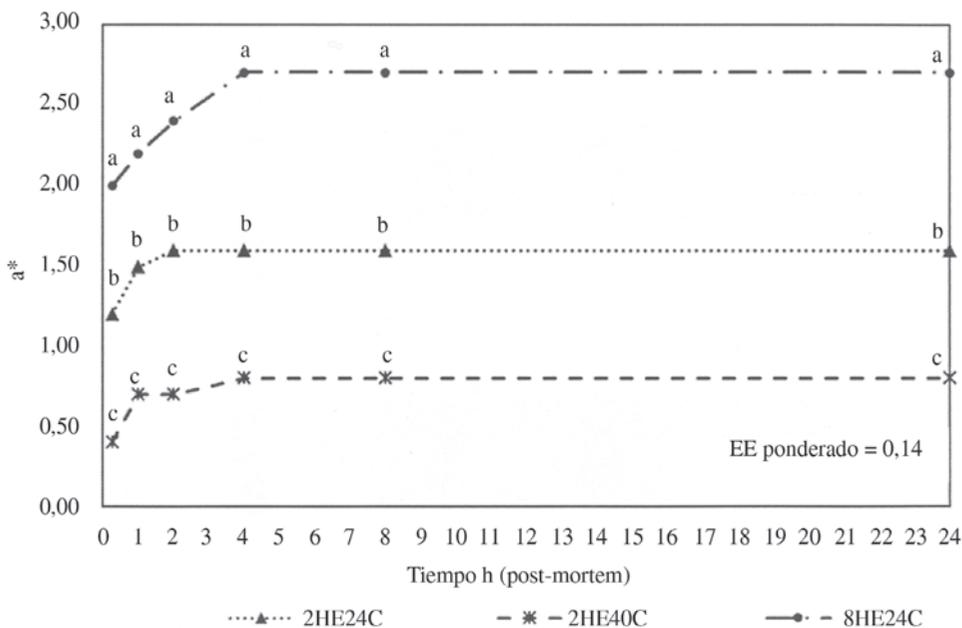


Figura 3. Evolución del índice de amarillo b* en la pechuga de pollo en diferentes tiempos *post-mortem*. 2HE24C = 2 h de espera a la matanza a temperatura ambiente (~24 °C); 8HE24C = 8 h de espera a la matanza a temperatura ambiente (~24 °C); 2HE40C = 2 horas de espera a la matanza con estrés calórico (~40 °C). Tiempos con diferentes superíndices son significativamente diferentes (P < 0,05).

Evolution of b* yellowness in chicken breast meat at different *post-mortem* times. 2HE24C = two hours of waiting to slaughter at room temperature (24 °C); 8HE24C = eight hours of waiting to slaughter at room temperature (24 °C); 2HE40C = two hours holding with heat stress (40 °C). Times with different superscript are statistically different (P < 0.05).

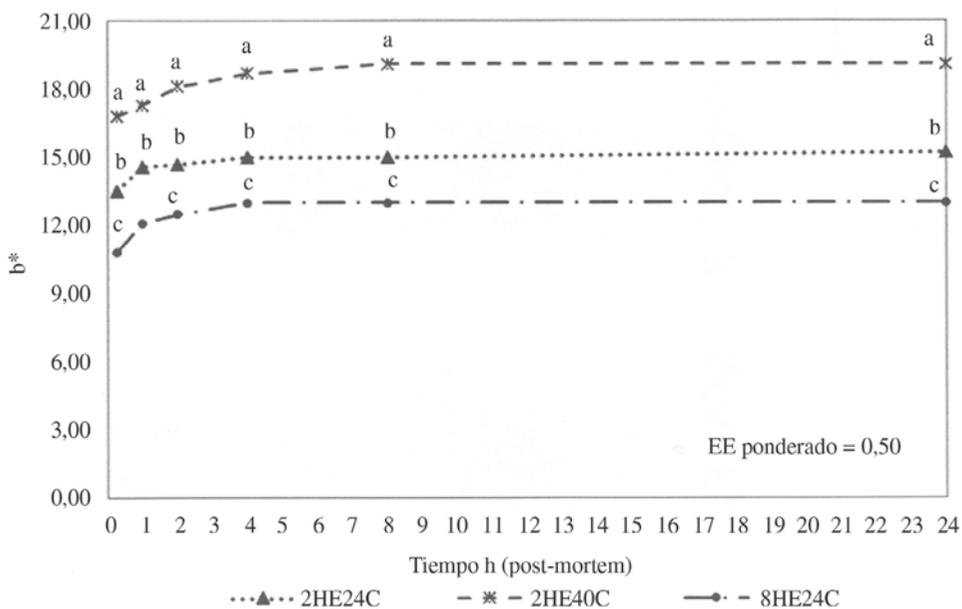


Figura 4. Efecto de índice de rojo a* en la pechuga de pollo en diferentes tiempos *post-mortem*. 2HE24C = 2 h de espera a la matanza a temperatura ambiente (~24 °C); 8HE24C = 8 h de espera a la matanza a temperatura ambiente (~24 °C); 2HE40C = 2 horas de espera a la matanza con estrés calórico (~40 °C). Tiempos con diferentes superíndices son significativamente diferentes (P < 0,05).

Evolution of a* redness in chicken breast meat at different *post-mortem* times. 2HE24C = two hours of waiting to slaughter at room temperature (24 °C); 8HE24C = eight hours of waiting to slaughter at room temperature (24 °C); 2HE40C = two hours holding with heat stress (40 °C). Times with different superscript are statistically different (P < 0.05).

fenómeno contrario sucede con aves sometidas a largos periodos de estrés *ante mortem*, como el tratamiento de 8HE24C, con valores de pH final de 6,2 característicos de una carne oscura firme y seca de acuerdo a los valores reportados por Barbut y col (2005). El tiempo prolongado de espera previo a la matanza hace que el glucógeno en músculo disminuya y se de una menor producción de ácido láctico *post mortem*, ocasionando una menor caída de pH (Zhang y col 2009, Quiao y col 2002). La reducción del pH y los valores finales obtenidos en el tratamiento 2HE24C son característicos de una carne clasificada como normal de acuerdo con lo reportado por (Woelfel y col 2001, Barbut y col 2005) quienes informan valores de 6,02 y 6,07 respectivamente, la cual se considera como una carne deseable por los consumidores debido a su apariencia de color y firmeza (Quiao y col 2002).

Los índices de L* a* y b* mostraron diferentes valores durante el tiempo *post mortem*, al respecto Cavitt y col (2005) mencionan que estos cambios en el color se deben al proceso de conversión de músculo a carne. Mancini y Hunt (2005) lo relacionan con la presencia de desoximioglobina en los primeros minutos *post mortem*, que es de color púrpura, y una vez que esta se expone al aire en contacto con el oxígeno se convierte a oximioglobina, la que le da una apariencia rojo cereza o brillante a la carne fresca, después de algunas horas de exposición al aire se da un proceso de oxidación de la forma ferrosa (Fe⁺²) a la forma férrica (Fe⁺³) y se convierte a metamioglobina de color marrón dándole una apariencia menos brillante (Mancini y Hunt 2005).

El color toma importancia porque influye en la aceptación del consumidor, ya que a menudo es rechazada si esta tiene un color anormal (Froning 1995, Droval y col 2012), siendo importante para los procesadores y consumidores, ya que influye en el valor económico del producto (Barbut 1997).

La carne de las aves del tratamiento de 2HE24C mostró índices altos de L* y b*. Estos resultados coinciden con lo reportado por Yue y col (2010) quienes reportan valores de 52,5 de L* y 12,52 de b* en aves sometidas a un estrés intenso por transporte previo a la matanza. Por otro lado, Sandercock y col (2001) y Schneider y col (2012) reportan valores de 51,4 de L* y 14,93 de b* en aves sometidas a estrés por calor a 30 °C antes de la matanza. Estos valores de L* y b* son característicos de una carne PSE, con apariencia pálida y menos rosada a la normal (Owens y Sams 2000, Barbut y col 2005, Gregory 2010). Lo anterior está asociado a una rápida caída del pH y una temperatura alta en la canal, provocando una desnaturalización de las proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas (Honikel y Kim 1986, Van-Laack y Lane 2000). Swatland (1993) explica que la desnaturalización de estas proteínas ocasiona un incremento en la dispersión de la luz pues cuando la luz alcanza la superficie de la carne, una parte de ellas es reflejada por la superficie húmeda sin cambiar su longitud de onda, y la otra parte que entra en la carne es dispersada

fuertemente y pierde su dirección original. Una fracción de esta luz dispersada retorna, mientras más luz retorne, más pálida se ve la carne.

La carne de aves del tratamiento de 8HE24C tuvieron valores de L* y b* menores, característicos de una carne oscura firme y seca (OFS) (Barbut y col 2005), debido a que su superficie seca no dispersa tanto la luz. Esta carne es más translúcida que la normal y la luz incidente es transmitida hacia lo profundo del músculo y se absorbe intensamente con muy poca dispersión (Allen y col 1998). En la carne con valores de pH altos las fibras están turgentes y dispuestas conjuntamente en un estrecho empaquetamiento, presentando una barrera a la difusión del oxígeno en su superficie, resultando en que la capa roja de oximioglobina superficial es más delgada que en la carne normal y la capa oscura subyacente de mioglobina es más aparente (Boulianne y King 1998). La carne con la condición oscura firme y seca presenta características de calidad inferiores a la carne normal por su apariencia más oscura, lo que influye en la preferencia del consumidor al momento de la compra (Qiao y col 2002, Droval y col 2012).

Referente al índice de a*, la carne de los tratamientos de 2HE24C y 8HE24C presentó mayores valores que la carne de aves expuestas al tratamiento de 2HE40C. Resultados similares han sido reportados por Schneider y col (2012), quienes señalan que aves sometidas a tiempo de espera largo en grilletes tuvieron valores altos de enrojecimiento (3,29) respecto de los de tratamiento corto (2,62). Qiao y col (2001) mencionan que el estrés intenso en corto tiempo causa un color menos rojo debido a la desnaturalización de algunas proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas, reduciendo la intensidad del color rojo.

La carne del tratamiento 2HE40C presentó mayores pérdidas por goteo que la carne de los demás tratamientos. Resultados similares fueron reportados por Woelfel y col (2002) y Schneider y col (2012), quienes obtuvieron valores de 2,24% a 4,38% de pérdida por goteo en carne considerada como PSE por estrés por calor *ante mortem*. El porcentaje de pérdida por goteo está relacionado con los valores de pH bajos, mismos que se presentaron en la carne de este tratamiento, ya que aumenta la cantidad de agua libre en el músculo, se caracteriza por tener una apariencia roja acuosa acumulándose alrededor de la carne (Lesiak y col 1996). Un efecto contrario sucedió con la carne de aves del tratamiento de 8HE24C. Por lo anterior la pérdida por goteo toma importancia económica, ya que al ser mayor se reduce el peso de la carne y el rendimiento disminuye y se deteriora su apariencia (Debut y col 2003).

La CRA de tratamiento de 2HE40C h se afectó principalmente por una mayor producción de ácido láctico en el músculo *post mortem* causando un valor bajo de pH final (5,6). El pH tiene una acción directa en determinar el número de grupos reactivos de las proteínas y su capacidad de ligar agua, ya que a pH bajos existe un exceso de cargas positivas que provoca la repulsión de los filamentos y aumenta el espacio entre las moléculas de agua y por

tanto aumentan de volumen los miofilamentos (Debut y col 2003, Chan y col 2011). La carne de aves sometidas a estrés calórico por su pH final bajo, cercano al punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares, aumenta la desnaturalización de estas, reduciendo considerablemente su capacidad de retener agua (Barbut y col 2005). Esta carne es inadecuada para la elaboración de productos cárnicos (Alvarado y Sams 2003). Un efecto opuesto sucede con la carne de aves expuestas a 2HE24C y 8HE24C, considerando a este tipo de carne apropiada para productos de emulsión cárnica y jamones cocidos (Qiao y col 2002, Alvarado y Sams 2003).

El estrés por calor indujo menor rendimiento de carne cocida, resultados similares fueron reportados en otros estudios, con pérdidas por cocción alrededor de 22,4% (McKee y Sams 1998, Owens y Sams 2000, Tang y col 2013). McKee y Sams (1998) atribuyen esta pérdida a valores de pH bajos en la carne, lo que ocasiona mayores pérdidas por goteo, menor capacidad de retención de agua y por ende menor rendimiento por cocción. Esto resulta en pérdidas económicas en la industria, ya que se busca que las pérdidas de líquido sean mínimas, para lograr un máximo rendimiento (Smith y Young 2007).

La textura en la carne se vio afectada por el estrés calórico, la carne de este tratamiento presentó valores de fuerza de corte mayores respecto de los demás tratamientos. Resultados similares han sido reportados (Sandercock y col 2001, Schneider y col 2012, Tang y col 2013) en carne de aves sometidas a estrés por calor previo a la matanza. Lyon y Lyon (1996) clasifican a los valores obtenidos como muy sensibles. Esta carne por tener baja capacidad de retención de agua y mayores pérdidas por goteo causan que las fibras musculares se compacten durante la cocción aumentando así la fuerza de corte (Zhuang y Savage 2012). Por otro lado la carne de aves sometidas a 8 h de espera previo a la matanza tuvo un pH mayor, lo cual indujo a una mayor capacidad de retención de agua y menores pérdidas por goteo y por lo tanto menor resistencia al corte.

En conclusión las características que definen la calidad de la carne son afectadas cuando las aves son expuestas a estrés por calor o por prolongar el tiempo de espera previo a la matanza. El estrés por calor induce el desarrollo de la condición PSE en la carne de pechuga de pollo, mientras el estrés prolongado produce carne con la condición OFS. El tiempo de espera a la matanza de 2 h a temperatura ambiente de 24 °C no afecta negativamente la calidad de la carne, produciendo una carne con características similares a la denominada carne normal.

REFERENCIAS

- Allen CD, DL Fletcher, JK Northcutt, SM Russell. 1998. The relationship of broiler breast color to meat quality and shelf-life. *Poultry Sci* 77, 361-366.
- Alvarado CZ, AR Sams. 2003. Injection marination strategies for remediation of pale, exudative Broiler breast meat. *Poultry Sci* 82, 1332-1336.
- Barbut S. 1997. Problem of pale soft exudative meat in broiler chickens. *Br Poultry Sci* 38, 355-358.
- Barbut S, L Zhang, M Marcone. 2005. Effects of pale, normal, and dark chicken breast meat on microstructure, extractable proteins, and cooking of marinated fillets. *Poultry Sci* 84,797-802.
- Barbut S, P Somboonpanyakul. 2007. Effect of crude malva nut gum and phosphate on yield, texture, color, and microstructure of emulsified chicken meat batter. *Poultry Sci* 86, 1440-1444.
- Boulianne M, AJ King. 1998. Meat color and biochemical characteristics of unacceptable dark-colored broiler chicken carcasses. *J Food Sci* 63, 759-762.
- Cavitt LC, JF Meullenet, RK Gandhapuneni, GW Youm, CM Owens. 2005. Rigor Development and meat quality of large and small broilers and the use of Allo-Kramer shear, needle puncture, and razor blade shear to measure texture. *Poultry Sci* 84,113-118.
- Chan JT, YDA Omana, M Betti. 2011^a. Effect of ultimate pH and freezing on the biochemical properties of proteins in turkey breast meat. *Food Chem* 127, 109-117.
- Debut M, C Berri, E Baéza, N Sellier, C Arnould, D Guémené, N Jehl, B Boutten, Y Jégo, C Beaumont, E Le Bihan-Duval. 2003. Variation of chicken technological meat quality in relation to genotype and preslaughter stress conditions. *Poultry Sci* 82, 1829-1838.
- Droval AA, VT Benassi, A Rossa, SH rudencio, FG Paião, M Shimokomak. 2012. Consumer attitudes and preferences regarding pale, soft, and exudative broiler breast meat. *J Appl Poult* 21, 502-507.
- Enfält AC, K Lundström, U Engstrand. 1993. Early post mortem pH decrease in porcine M. Longissimus dorsi of PSE, normal and DFD quality. *Meat Science* 34, 131-143.
- Froning GW.1995. Color of poultry meat. *Poultry Avian Biol* 6, 83-93.
- Garcia ME. 1989. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. 3^{ra} ed. Instituto de Geografía. México, D. F.
- Gregory NG. 1994. Pathology and handling of poultry at the slaughterhouse. *Wlds Poultry Sci* 50, 66-67.
- Gregory NG. 2010. How climatic changes could affect meat quality. *Food Res* 43,1866-1873.
- Guerrero LI, AE Ponce, ML Pérez. 2002. *Curso práctico de tecnología de carnes y pescado*. Universidad Metropolitana Unidad Iztapalapa. D. F., México.
- Honikel KO, CJ Kim. 1986. Causes of the development of PSE pork. *Fleischwirtschaft* 66, 349-353.
- Jones BJ, T Tan, SR Bloom. 2012. Minireview: Glucagon in stress and energy homeostasis. *Endocrinology* 153, 1049-1054.
- Kettlewell PJ, MA Mitchell, A Meehan, 1993. The distribution of thermal loads within poultry transport vehicles. *Agric Eng* 48, 26-30.
- Kettlewell PJ, MA Mitchell. 1994. Catching, handling and loading of poultry for road transportation. *Wlds Poultry Sci* 50, 54-56.
- Lesiak MT, DG Olson, CA Lesiak, DU Ahn. 1996. Effects of postmortem temperature and time on the water-holding capacity of hot-boned turkey breast and thigh muscle. *Meat Sci* 40, 51-60.
- Lonergan EH, WG Zhang, S Lonergan. 2010. Biochemistry of postmortem muscle - Lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Sci* 86,184-195.
- Lyon BG, CE Lyon. 1996. Texture evaluations of cooked, diced broiler breast samples by sensory and mechanical methods. *Poultry Sci* 75,812-819.
- Mailila Y, RJ Tempelman, KRB Sporer, CW Ernst, Velleman, KM Reed, GM Strasburg. 2013. Differential gene expression between normal and pale, soft, and exudative turkey meat. *Poultry Sci* 92, 1621-1633.
- Mancini RA, MC Hunt. 2005. Current research in meat color. *Meat Sci* 71, 100-121.
- McKee SR, AR Sams. 1998. Rigor mortis development at elevated temperatures induces pale exudative turkey meat characteristics. *Poultry Sci* 77, 169-174.
- Northcutt JK, EA Foegeding, FW Edens. 1994. Water-holding properties of thermally preconditioned chicken breast and leg meat. *Poultry Sci* 73, 308-316.
- Owens CM, AR Sams. 2000. The influence of transportation on turkey meat quality. *Poultry Sci* 79, 1204-1207.

- Qiao M, DL Fletcher, DP Smith, JK Northcutt. 2001. The effect of broiler breast meat color on pH, water-holding capacity, and emulsification capacity. *Poultry Sci* 80, 676-680.
- Qiao MDL, JK Fletcher, Northcutt, DP Smith. 2002. The relationship between raw broiler breast meat color and composition. *Poultry Sci* 81,422-427.
- Sandercock DA, RR Hunter, GR Nute, MA Mitchell, PM Hocking. 2001. Acute heat stress-induced alterations in blood acid-base status and skeletal muscle membrane integrity in broiler chickens at two ages: Implications for Meat Quality. *Poultry Sci* 80,418-425.
- Schneider BL, RA Renema, M Betti, VL Carney, MJ Zuidhof. 2012. Effect of holding temperature, shackling, sex, and age on broiler breast meat quality. *Poultry Sci* 91,468-477.
- Smith DP, LL Young. 2007. Marination pressure and phosphate effects on broiler breast fillet yield, tenderness, and color. *Poultry Sci* 86, 2666-2670.
- Swatland HJ. 1993. *Pork Quality: Genetic and Metabolic Factors*. Poulanne E, Demeyer DI (ed). C.A.B. International, Wallingford, UK.
- Tang SY, Jimian, Z Miao, B Endong. 2013. Effects of different heat stress periods on various blood and meat quality parameters in Young Arbor Acer broiler chickens. *Canadian J Animal Sci* 93, 453-460.
- Van-Laack RLJM, JL Lane. 2000. Denaturation of myofibrillar proteins from chicken as affected by pH, temperature, and adenosine triphosphate concentration. *Poultry Sci* 79,105-109.
- Wilhelm AE, MB Maganhini, FJ Hernandez-Blazquez, EI Ida, M Shimokomaki. 2010. Protease activity and the ultrastructure of broiler chicken PSE (pale, soft, exudative) meat. *Food Chem* 19, 1201-1204.
- Woelfel RL, CM Owens, EM Hirschler, R Martinez-Dawson, AR Sams. 2002. The characterization and incidence of pale, soft, and exudative broiler meat in a commercial processing plant. *Poultry Sci* 81, 579-584.
- Yue H-Y, L Zhang, SG Wu, L Xu, HJ Zhang, GH Qi. 2010. Effects of transport stress on blood metabolism, glycolytic potential, and meat quality in meat-type yellow-feathered chickens. *Poultry Sci* 89,413-419.
- Zhang LH, Y Yue, HJ Zhang, L Xu, SG Wu, HJ Yan, YS Gong, GH Qi. 2009. Transport stress in broilers: I. Blood metabolism, glycolytic potential, and meat quality. *Poultry Sci* 88, 2033-2041.
- Zhuang H, EM Savage. 2012. Effects of fillet weight on sensory descriptive flavor and texture profiles of broiler breast meat. *Poultry Sci* 91, 1695-1702.

