



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

EFFECTO DE ESTRÉS *ANTE-MORTEM* EN CARACTERÍSTICAS BIOQUÍMICAS QUE AFECTAN LA CALIDAD DE CARNE DE POLLO

YURIDIA BAUTISTA MARTÍNEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2013

**EFFECTO DE ESTRÉS ANTE-MORTEM EN CARACTERÍSTICAS BIOQUÍMICAS QUE
AFECTAN LA CALIDAD DE CARNE DE POLLO**

La presente tesis titulada: **Efecto de estrés *ante-mortem* en características bioquímicas que afectan la calidad de carne de pollo** realizada por la alumna: **Yuridia Bautista Martínez** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

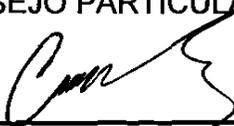
MAESTRA EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

Consejero



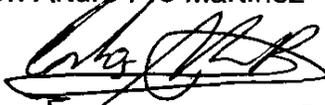
Dr. Carlos Narciso Gaytán

Asesor



Dr. Arturo Pro Martínez

Asesor



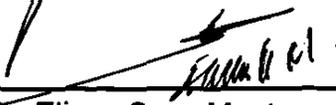
Dr. Carlos Miguel Becerril Pérez

Asesor



Dra. Aleida Selene Hernández Cázares

Asesor



Dr. Eliseo Sosa Montes

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Marzo de 2013

RESUMEN

EFFECTO DE ESTRÉS ANTE-MORTEM EN CARACTERÍSTICAS BIOQUÍMICAS QUE AFECTAN LA CALIDAD DE CARNE DE POLLO

Yuridia Bautista Martínez, MC.

Colegio de postgraduados, 2013

Se estudiaron los efectos del estrés calórico (40° C) y el tiempo de espera a la matanza (h) sobre el color y las características fisicoquímicas de la carne de pechuga de pollo. Los tratamientos fueron dos horas a 40 °C (2h EC) y, dos horas y ocho horas sin estrés calórico (2h NO-EC y 8h NO-EC, respectivamente). La carne se obtuvo de pollos de engorda de la línea Ross de seis semanas de edad. Las variables de respuesta fueron el color en términos de L*, a* y b* (luminosidad, índice de rojo e índice de amarillo, respectivamente) y las características fisicoquímicas: pH, pérdidas por goteo (PG), resistencia al corte (RCo, kg cm⁻², y kg g⁻¹), rendimiento por cocción (RC) y capacidad de retención de agua (CRA). Finalizado el tiempo de espera, se midieron las variables del color y el pH de la carne a los 15 minutos, 1, 2, 4, 8, 24, 48, 96 y 144 h. El principal efecto del tratamiento 2h EC fue una disminución rápida del pH, que condujo a un color más pálido, menor capacidad de retención de agua, mayores pérdidas por goteo, mayor resistencia al corte y menor rendimiento por cocción, resultando una carne pálida, suave y exudativa (PSE). Un efecto opuesto ocurrió con el tratamiento 8h NO-EC produciéndose una carne oscura firme y seca (OFS). Se consideró que el tratamiento 2h NO-EC no afectó la calidad de la carne, produciendo una carne con características denominada carne normal.

Palabras clave: calidad de carne, estrés calórico, tiempo de espera

ABSTRACT

EFFECT OF ANTE-MORTEM STRESS IN BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS THAT AFFECT THE QUALITY ON CHICKEN MEAT

Yuridia Bautista Martínez, MC.

Colegio de postgraduados, 2013

The effects of heat stress and timeout the slaughter (h) and the physicochemical characteristics of chicken breast meat were studied. Treatments were two hours at 40 °C (2h HS) and, two hours and eight hours without heat stress (2h NO-HS and 8h NO-HS) respectively. The meat was obtained from Ross line six weeks old. The response variables were the color in terms of L*, a* and b* (lightness, redness, yellowness respectively) and the physicochemical characteristics; pH, drip loss, shear test (kg cm⁻², and kg g⁻¹), cooking loss and water-holding capacity. Once the timeout variables were measured color and the pH of the meat to 15 minutes, 1, 2, 4, 8, 24, 48, 96 y 144 h. The main effect of treatment was 2h HS rapid decrease in pH, which led to a paler color, lower water-holding capacity, higher drip loss, higher shear test and lower cooking loss, resulting meat pale, soft and exudative (PSE). An opposite effect occurred with treatment 8h NO-HS producing a dark, firm and dry meat (DFD). It was considered that the 2h NO-HS treatment did not affect the quality meat, producing a meat called normal meat characteristics.

Keywords: meat quality, heat stress, timeout

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis de maestría, si bien ha requerido de esfuerzo y dedicación por parte de la autora y director de tesis, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que a continuación citaré.

Primero y antes que nada le agradezco a Dios por acompañarme en todo momento, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, ayudarme a ser fuerte en momentos difíciles poniendo en mi camino a aquellas personas que ha sido mi soporte y compañía en este periodo de estudio, brindarme una vida llena de aprendizajes y sobre todo felicidad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado para realizar mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados por brindarme la oportunidad de estudiar la maestría.

Agradezco al Dr. Carlos Narciso Gaytán por aceptarme para realizar esta tesis de maestría bajo su dirección. Su apoyo y confianza en el trabajo y su capacidad para guiarme no solamente en el desarrollo de esta tesis, sino también en mi formación como investigador. Le agradezco también el haberme facilitado los medios para llevar a cabo las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis. Además de su tiempo, amistad brindada y consejos dados en este periodo.

Al Dr. Arturo Pro Martínez por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis. Debo destacar, por encima de todo, su confianza, apoyo, disponibilidad, paciencia en mi formación académica, y en la realización de la presente investigación. Gracias por su amistad, consejos y generosidad que me ha brindado.

A la Dra. Aleida Hernández Cázares por sus comentarios y sugerencias en el desarrollo de la investigación, redacción de tesis. Además del apoyo y amistad brindada durante mi estancia en Córdoba.

Al Dr. Eliseo Sosa Montes por las valiosas aportaciones que hicieron mejorar la presente investigación.

Al Dr. Carlos Becerril Pérez por su apoyo brindado en la mejora de la redacción de esta tesis.

A la M. C Natalia Real Luna por su paciencia, apoyo y enseñanzas brindadas en el trabajo realizado en el Laboratorio de Ciencias de los Alimentos.

Al Dr. Joel Velasco Velasco y la Dra. Adriana Contreras Oliva, por su apoyo en la parte de campo en esta investigación y momentos agradables en mi estancia en Córdoba.

A todos los Doctores del programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados por su experiencia transmitida para mi formación académica.

A mis compañeros de trabajo; Blanca Janet Montiel Domínguez, Sandra Lozoya, Flor Márquez Pulido, Horacio Alvarado Lara, Aidé Hernández Rivera, Alejandra Nieva Colorado. Por su apoyo durante la realización de la investigación en la fase campo y amistad brindada durante mi estancia en Córdoba

Debo agradecer de manera especial y sincera a Danilo Granados Rivera por motivarme todos los días, escucharme siempre y por esas largas pláticas que siempre me daban tranquilidad pero sobre todo por apoyarme siempre sin importar mi estado de ánimo. Dios me ha bendecido por encontrarte en mi camino y compartir la vida contigo.

A mis amigos Alejandro Ernesto Ruiz Pereyra, Gema Berenice Cruz Ortega, José Octavio López Rodríguez y Mayra Trujillo Mina, por su generosidad, mostrarme siempre disposición y apoyo en la fase de campo del trabajo de investigación, por acompañarme en las buenas y en las malas, demostrándome siempre que puedo contar con ellos en todo momento, no me queda más que decirle gracias por su amistad, me han hecho muy afortunada por contar con ella. Y a todos aquellos amigos míos que de alguna forma estuvieron conmigo en este proceso; Bernardino Espinoza Velasco, Francisco Cigarroa, Juan Carlos Torres, Marco Antonio Ayala, Yaneth López Mora, Hortensia Barragán Gonzales, Héctor Sentéis y Héctor Argüello.

CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA | 2 |
| 2.1 Producción y consumo de carne de pollo en México | 2 |
| 2.2 Características del pollo de engorda | 3 |
| 2.3 Estructura y composición del músculo esquelético | 4 |
| 2.4 Carne | 5 |
| 2.5 Rigor mortis | 6 |
| 2.6 Estrés ante-mortem y alteraciones en la carne de pollo | 6 |
| 2.7 Clasificación de la calidad de la carne | 7 |
| 2.7.1 Carne pálida, suave y exudativa (PSE)..... | 7 |
| 2.7.2 Carne oscura firme y seca (OFS)..... | 8 |
| 2.7.3 Carne Roja, Firme y No Exudativa (RFN)..... | 9 |
| 2.8 Capacidad de retención de agua (CRA)..... | 9 |
| 2.9 Color | 10 |
| 2.10 Textura..... | 11 |
| 2.11 Glucólisis | 12 |
| 3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS | 16 |
| 3.1 Objetivo general | 16 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.2 | Objetivo específico | 16 |
| 3.3 | Hipótesis..... | 16 |
| 4. | MATERIALES Y MÉTODOS | 17 |
| 4.1 | Localización del área de estudio | 17 |
| 4.2 | Animales y diseño experimental | 17 |
| 4.3 | Determinación de color..... | 18 |
| 4.4 | Determinación del pH..... | 18 |
| 4.5 | Determinación de la Capacidad de Retención de Agua (CRA) | 19 |
| 4.6 | Determinación de pérdida por goteo..... | 19 |
| 4.7 | Determinación de rendimiento por cocción (RC) | 19 |
| 4.8 | Determinación de resistencia al corte (RCo) | 20 |
| 4.9 | Análisis estadístico | 21 |
| 5. | RESULTADOS | 23 |
| 6. | DISCUSIÓN | 28 |
| 7. | CONCLUSIONES..... | 32 |
| 8. | LITERATURA CITADA | 33 |

LISTA DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Características de pechugas de pollo (normales vs pálidos) | 8 |
| Cuadro 2. Efecto de estrés <i>ante-mortem</i> sobre las características fisicoquímicas en carne de pechuga de pollo..... | 23 |
| Cuadro 3. Efecto de estrés <i>ante-mortem</i> sobre el color de la carne de pechuga de pollo..... | 27 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Participación de la avicultura en la producción pecuaria en México 2011. | 2 |
| Figura 2. Comercialización de carne de pollo. | 3 |
| Figura 3. Principales líneas genéticas de pollo de engorda en México. | 4 |
| Figura 4. Proceso de glucólisis en condiciones anaeróbicas..... | 14 |
| Figura 5. Los tres posibles destinos catabólicos del piruvato producido en la glucólisis..... | 15 |
| Figura 6. Muestra de carne de pechuga de pollo para fuerza de corte con navaja Allo- Kramer y Warner-Bratzler..... | 20 |
| Figura 7. Evolución de pH en carne de pechuga de pollo en diferente tiempo <i>post-mortem</i> | 26 |

1. INTRODUCCIÓN

La apariencia de la carne es un factor importante que influye en la decisión de compra del consumidor. La calidad de la carne puede ser afectada por varios factores de estrés *ante-mortem*, entre los cuales se encuentran; temperatura ambiental, tiempo de espera a la matanza, tiempo de transporte y manipulación previa a la matanza (Owens y Sams, 2000; Leheska *et al.*, 2003; Yue *et al.*, 2010; Schneider *et al.*, 2012). Ellos alteran el metabolismo muscular durante el proceso de conversión de músculo a carne, lo que puede producir cambios indeseables en la calidad de la carne (Owens y Sams, 2000).

Se considera que el estrés por calor o calórico (temperatura ambiental) es uno de los factores que más influye sobre la calidad y rendimiento de la carne (Smith y Teeter, 1987; Howlinder y Rose, 1989; Northcutt *et al.*, 1994; Mckee y Sams 1997; Owens *et al.*, 2000). Varios estudios se han centrado en el efecto del estrés por calor sobre la calidad de la carne justo antes de la matanza en diferentes especies como; cerdo (Sayre *et al.*, 1963), pavo (Froning *et al.*, 1978) y pollo (Northcutt *et al.*, 1994). El estrés además por calor puede darse por el transporte y por el tiempo de espera antes de la matanza en la planta de procesamiento (Kettlewell *et al.*, 1993; Warriss *et al.*, 1993). Sin embargo, el estudio del tiempo de espera prolongado antes de la matanza, no ha sido bastante estudiado, por lo que es importante determinar las alteraciones en el color y las características fisicoquímicas y calidad de la carne, al variar dicho factor.

Según Barbut, (1997) el efecto del estrés sobre la calidad de la carne adquiere importancia debido a que causa cambios fisicoquímicos *post-mortem*, induciendo el desarrollo de la condición pálida, suave y exudativa (PSE). Ella causa grandes pérdidas económicas en la industria avícola al incrementar las pérdidas por goteo, bajar la capacidad de retención de agua, aumentar la dureza y afectar las propiedades funcionales de la carne destinada a la industrialización (Woelfel *et al.*, 2002).

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

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Producción y consumo de carne de pollo en México

En México la producción de carne de pollo en el 2011 fue de 2, 906,214 millones de toneladas (UNA, 2011), superior a la carne de las demás especies (Figura 1). México es el 4^{to} productor de carne de pollo a nivel mundial, después de Estados Unidos, China y Brasil; con este volumen de producción, la avicultura nacional en 2011 tuvo una participación en el Producto Interno Bruto (PIB) pecuario de 0.7% y de 38.1%.

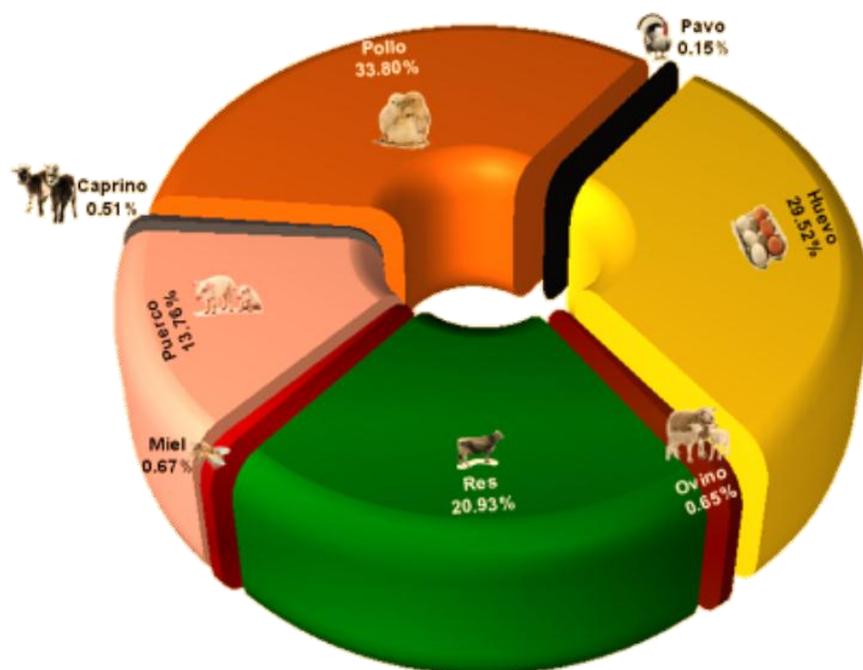


Figura 1. Participación de la avicultura en la producción pecuaria en México 2011.
Fuente (UNA, 2011).

La industria avícola ha presentado un crecimiento constante a través de los años ya que en el periodo 1994-2011 el consumo anual per-cápita aumentó de 15.83 a 25.70 kg con una tasa media de crecimiento anual (TMCA) de 4.5 %. En el 2011 el 90 % de la producción de carne de pollo se concentró en los siguientes estados y regiones de la República Mexicana: La Laguna, Veracruz, Querétaro, Jalisco, Aguascalientes, Nuevo León, Veracruz, Puebla, Chiapas y San Luis Potosí (UNA, 2011).

La carne de pollo se comercializa principalmente como pollo vivo, mercado público (pollerías), en restaurantes de comida rápida (pollo rostizado, asado y frito) y en tiendas de autoservicio (Figura 2; UNA, 2011).



Figura 2. Comercialización de carne de pollo.

Fuente (UNA, 2011)

2.2 Características del pollo de engorda

El pollo de engorda tiene gran capacidad de desarrollo y crecimiento rápido, esta capacidad se basa principalmente en el mejoramiento genético continuo, lo cual ha permitido desarrollar estirpes comerciales de alta productividad. Desde hace más de cincuenta años, el pollo de engorda se ha obtenido a partir de la selección y de cruces entre diferentes líneas genéticas. Sin embargo, México carece de líneas genéticas puras, por lo cual se importa material genético para mantener la parvada nacional. En México actualmente hay cuatro estirpes comerciales de pollo de engorda: Cobb 500 plus, Hybro, Hubbard y Ross 308 (Juárez, 2009). Esta última se caracteriza por tener un crecimiento rápido, excelente viabilidad, y un alto rendimiento en carne (North, 2000), además, se caracteriza por tener alta rusticidad y adaptabilidad a diferentes climas. La línea Ross es una de las más populares en el mundo y en México, ocupa el 89 % de la producción, seguida de Cobb 500 plus (7 %) y Hubbard (4 %) (Figura 3; UNA, 2011).

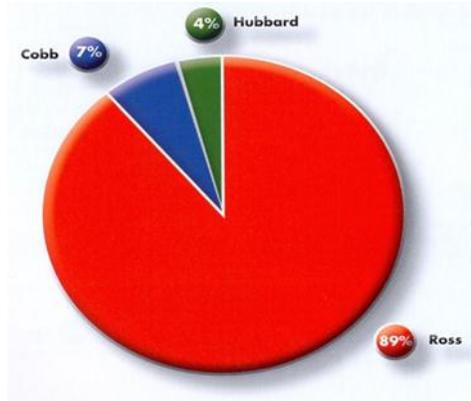


Figura 3. Principales líneas genéticas de pollo de engorda en México.
Fuente: (UNA, 2011).

2.3 Estructura y composición del músculo esquelético

La estructura del músculo es fundamental para para entender las relaciones entre las propiedades del músculo y su empleo como carne. El músculo estriado o esquelético, llamado así, debido a que al microscopio se observa una estructura estriada distribuida a lo largo de las fibras musculares, las cuales son la unidad estructural, compuesta de miofibrillas, bastones largos y finos de aproximadamente uno a dos micrómetros de diámetro. Los cortes transversales de las miofibrillas presentan filamentos gruesos y delgados, dando apariencia de bandas claras y oscuras. La banda clara llamada banda I, la cual contiene en su mayoría moléculas de actina mientras la banda oscura llamada banda A, contiene las moléculas de miosina, se cree que estas mantienen su ordenamiento trasversal y longitudinal mediante gruesas bandas cruzadas, localizadas periódicamente a lo largo de su longitud, y especialmente por conexiones entre ellos que se alinean en el centro de la banda A. Son estas conexiones las que forman la línea M (Murai *et al.*, 1995). La banda I está dividida por una banda oscura llamada línea Z, la porción de miofibrilla comprendida entre dos líneas Z adyacentes se llama sarcómero, el cual comprende una banda A y dos medias bandas I que se localizan a cada lado de la banda A (Vigoreaux, 1994). El sarcómero es la unidad estructural y de contracción de la miofibrilla (Forrest *et al.*, 2001; Lawrie, 1998).

2.4 Carne

La carne se define como todo tejido animal apto para el consumo humano. El mayor componente de ésta es la masa muscular, contiene además, tejido conectivo y graso (Hui *et al.*, 2006). La calidad de la carne es un término subjetivo, en la que influyen varios factores que permiten que ésta sea aceptada por el consumidor. Algunas características son: la higiene e inocuidad del producto, contenido nutrimental y características sensoriales como: aroma, sabor, color, jugosidad y suavidad (Kannan *et al.*, 2002; Hui *et al.*, 2006), estos últimos juegan un papel importante para el consumidor cuando se habla de carne fresca.

El músculo se convierte a carne después de la matanza de los animales, ya que el músculo es un tejido vivo cuya actividad contráctil característica se regula por el sistema nervioso. Cuando los músculos se han convertido a carne ya no son capaces de contraerse mediante el deslizamiento de los filamentos (Forrest *et al.*, 2001).

Bioquímicamente la carne es el resultado de una serie de transformaciones y reacciones físicas y químicas, que tienen lugar en el músculo después de la muerte del animal durante el proceso de conversión de músculo a carne. Este proceso se lleva a cabo en tres fases: la fase de demora del *rigor o pre-rigor*, comprende el tiempo tras la matanza del animal en que las proteínas del músculo todavía no han sufrido cambios y el músculo aún es estirable y elástico; la fase de *rigor mortis*, consta del acortamiento de los sarcómeros (formación de enlaces entrecruzados entre filamentos finos y gruesos) y la rigidez (tensión continua de la fibras musculares) y la fase de resolución o maduración, la extensibilidad de los músculos se recupera y la carne sufre un proceso de ablandamiento paulatino (Andujar *et al.*, 2009). En este sentido, la conversión de los músculos en carne no es un suceso instantáneo, después de ser desangrado el animal, las fibras musculares sobreviven durante algún tiempo mediante glucólisis anaerobia, aunque después de cierto tiempo se agota la energía. Inicialmente se agota su depósito primario de carbohidratos, el glucógeno, y el producto final de la glucólisis anaerobia, el lactato; se perdió en la sangre por lo que no se acidifica la carne. Es entonces cuando las fibras musculares comienzan a perder su integridad al no disponer de energía (Bodwell *et al.*, 1965) y el pH se mantiene cercano a 7.

2.5 Rigor mortis

La rigidez cadavérica o “*rigor mortis*” constituye la fase inicial en la transformación del músculo en carne. Consiste en la unión irreversible de miosina y actina para formar el complejo actomiosina. Esta unión puede ir acompañada o no de contracción muscular, pero se manifiesta por una rigidez cadavérica característica (Acevedo, 2004).

Después de la muerte hay una interrupción del flujo sanguíneo y por tanto, del aporte de oxígeno al músculo. A su vez el músculo trata de mantener su temperatura y la contracción muscular normal agotando el adenosín trifosfato (ATP), el descenso de los niveles de ATP comienza a impedir la relajación muscular debido al aumento de Ca^{2+} del retículo sarcoplásmico, la temperatura baja limita además la eficacia de la bomba de Ca^{2+} , y como consecuencia de las uniones actina-miosina se establece el estado de “*rigor mortis*” (Lawrie, 1998; Forrest *et al.*, 2001).

En las aves el “*rigor mortis*” se establece muy rápido, en promedio 1-2 h , pero puede observarse entre 10 minutos y 4 h, y es máximo entre 2 y 8 h *post-mortem* (Wang *et al.*, 2011). La mayor velocidad del proceso glucolítico y la rapidez con la que se enfrían las canales, dado su pequeño tamaño, favorece el rápido acortamiento de las fibras musculares. A las 8 h *post-mortem* el *rigor* va desapareciendo a causa de los fenómenos proteolíticos, comenzando así el proceso de maduración de la carne (Wang *et al.*, 2011).

2.6 Estrés ante-mortem y alteraciones en la carne de pollo

El estrés es un término que ha sido utilizado de diversas maneras, alguna de ellas como un concepto relacionado a aspectos físicos de bienestar animal tales como sobrepoblación, ruido y otras como factores del ambiente que afectan al animal como temperatura y humedad relativa. Se ha reconocido al estrés como la suma de reacciones biológicas frente a cualquier estímulo que tiende a alterar la homeostasis o relación huésped-agente-medio ambiente. Condiciones medioambientales y de manejo rutinario realizadas en la aves como: cambios extremos de temperatura, aumentó en la densidad de población, reagrupaciones, corte de pico, aplicación de vacunas, programas de ayuno, captura, enjaulado, trasportación etc., tienen un amplio potencial para desencadenar estrés, alterar el bienestar animal y en consecuencia activar los ejes médula adrenal-sistema simpático e hipotálamo-pituitaria-adrenocortical; ambos sistemas juegan un papel preponderante en el control de la homeostasis (McFarlane *et al.*, 1989).

Las condiciones estresantes se han relacionado con el grado de actividad secretora por parte de la glándula adrenal, por lo general la médula adrenal se activa para liberar catecolaminas (epinefrina y norepinefrina) con el objetivo de movilizar las reservas de energía (glucógeno). Ante una situación estresante prolongada, el hipotálamo activará la pituitaria para liberar corticotropina, que actúa sobre la corteza adrenal para producir corticosterona. La liberación de corticosterona no es un proceso autorregulado, por lo que si un agente estresante no deja de ejercer su efecto, el animal morirá de fatiga (Minton, 1994).

2.7 Clasificación de la calidad de la carne

2.7.1 Carne pálida, suave y exudativa (PSE)

Esta condición de calidad de la carne se genera por una glucólisis acelerada, desencadenada por un descenso rápido del pH mientras la temperatura corporal de la canal es aún elevada (Owens, 2000). Esto provoca la desnaturalización de aproximadamente el 20% de las proteínas sarcoplasmáticas y miofibrilares, por consiguiente la disminución de la capacidad de retención de agua (CRA). Esta condición hace a la carne altamente exudativa, le da una apariencia pálida al desnaturalizarse la mioglobina y una textura blanda, poco apetecible para el consumidor.

La carne PSE es un problema grave en la industria avícola. Barbut (1997) y Woelfel *et al.*, (2002) reportan datos de 30 a 40% de pollos o pavos afectados por PSE por parvada, afectando la aceptabilidad del consumidor, debido al color pálido, textura poco firme de la carne, baja capacidad de retención de agua y bajo poder de gelificación, lo cual disminuye la calidad y rendimientos de los productos cárnicos elaborados.

El músculo de la pechuga (*pectoralis major*) es el músculo objetivo en la producción de carne de pollo, por su tamaño, rendimiento, valor nutrimental y valor económico. Por su importancia comercial y funcional en la elaboración de productos cárnicos es comúnmente estudiado para determinar sus características fisicoquímicas, debido a que es susceptible a desarrollar la condición PSE. Woelfel *et al.*, (2002) encontraron que los principales indicadores de una carne PSE son el pH y el color, principalmente la luminosidad (L*) Cuadro 1.

Cuadro 1. Características de la pechuga de pollo (normal vs pálida), Woelfel *et al.*, 2002.

| Variable | Tipo de carne | |
|-------------------------|--------------------|--------------------|
| | Normal | Pálida (PSE) |
| L* (>3h) | 51.38 ^b | 60.41 ^a |
| L* (>24 h) | 51.15 ^b | 59.81 ^a |
| pH (>3 h) | 6.07 ^a | 5.76 ^b |
| Humedad (%) | 25.18 ^b | 30.61 ^a |
| Pérdida por goteo (%) | 3.32 ^b | 4.38 ^a |
| Pérdida por cocción (%) | 21.02 ^b | 26.39 ^a |

^{a y b} = letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0.05$), L* = luminosidad.

Woelfel *et al.* (2002) reportaron que el valor L* para diferenciar carne normal de PSE debe ser mayor de 54. Y aunque es evidente a simple vista la palidez de las pechugas PSE frente a las normales, el valor de L* mediante la lámpara de reflectancia puede utilizarse como un indicador de mayor precisión. Los umbrales establecidos por diferentes autores varían según los estudios y equipos de medición, así se reportan valores $L > 53$ por Quiao *et al.* (2002) y $L > 49$ por Barbut (1998).

El origen del problema de carnes avícolas, al igual que de porcinas, es fundamentalmente un estrés agudo en el momento pre-sacrificio que conlleva un aumento en la secreción de adrenalina y una mayor velocidad de glucólisis. La fuerte selección genética en el pollo en las últimas décadas ha producido cambios en el número de fibras glucolíticas en músculo así como en el diámetro de las mismas, ambos factores aumentan la predisposición del animal a sufrir la condición PSE (Dransfield y Sosnicki, 1999).

2.7.2 Carne oscura firme y seca (OFS)

Esta condición en la carne se genera en animales ejercitados o exhaustos antes de la matanza. Los animales consumen sus reservas de glucógeno, provocando que se alcance una menor concentración de ácido láctico en el proceso de glucólisis *post-mortem*, que conlleva a un pH final elevado (pH 6.0-6.5). Esta carne tiene una apariencia oscura (la mioglobina se desnaturaliza en menor medida) y presenta menores pérdidas por goteo que la normal (presenta una alta CRA al estar el pH alejado del punto isoeléctrico de las proteínas musculares). Esto puede ser producido por tiempos de espera a la matanza excesivamente altos, transportes inadecuados en grandes distancias o ayunos largos. La incidencia de las carnes OFS en avicultura es baja,

algunas estimaciones indican 4 % de los animales sacrificados. La luminosidad para considerar una carne como oscura y probablemente OFS, se considera menor de 43 (Quiao *et al.*, 2002).

2.7.3 Carne Roja, Firme y No Exudativa (RFN)

Este tipo de carne es considerada ideal para consumo como carne fresca o industrialización, ya que se caracteriza por presentar un valor de L* entre 43 y 49, y es de color de rosa-rojizo, firme, no exudativa; con un pH < 6 y una pérdida por goteo menor del goteo del 6% (Barbut *et al.*, 2005).

2.8 Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua es la propiedad de la carne para conservar agua cuando se somete a factores externos como corte o presión, entre otros. Es una propiedad funcional importante de calidad porque influye sobre la carne antes y durante el cocinado. Una alta CRA mantiene la jugosidad de la carne y mejora el rendimiento en el procesamiento (López y Casp, 2004). La CRA de la carne puede ser afectada por factores como: reducción del pH *post-mortem*, pérdida de ATP, establecimiento del *rigor mortis* y cambios en la estructura miofibrilar asociados parcialmente con la actividad proteolítica (Young *et al.*, 2004). Por ello, las propiedades físicas más importantes de la carne (color y textura de la carne cocida) están estrechamente relacionadas con la CRA (Hulot y Ouhayoun, 1999). La CRA determina dos importantes variables económicas: el rendimiento y la calidad de los productos obtenidos. La CRA del tejido muscular tiene efecto directo durante el almacenamiento, cuando los tejidos tienen poca CRA, las pérdidas de humedad y, consecuentemente, la pérdida de peso durante el almacenamiento (mermas) son mayores. Esta pérdida de humedad tiene lugar en las superficies de la canal expuestas a la atmósfera durante el almacenamiento (Forrest *et al.*, 2001). Las pérdidas de peso se producen en toda la cadena de distribución y transformación y pueden ser de 4 a 5% del peso inicial. Por ello, el estudio de esta propiedad es importante al momento de caracterizar la calidad de la carne (Offer *et al.*, 1989).

Por otro lado, la CRA depende de dos factores fundamentales: el tamaño de la zona H, que es el espacio donde se retiene el agua, y la existencia de moléculas que aporten cargas que permitan establecer enlaces dipolo-dipolo con las moléculas de agua. El agua en la carne está predominantemente escondida en la red de las miofibrillas, incluso tras la homogeneización de la carne. El volumen disponible en la red de miofibrillas es crucial en su capacidad para unir agua.

La relativa rigidez de las líneas Z y M impone límites al aumento de volumen. Este aumento también está limitado por las fibras de tejido conectivo y membranas que rodean a la fibra muscular. Un factor limitante del aumento de dicho volumen es la falta de disminución del pH que induce la formación de puentes entre las miofibrillas en el *rigor mortis*, con la consecuente disminución de la CRA (Wismer-Pedersen, 1994).

2.9 Color

El color se define como la sensación resultante de estimular la retina por las ondas luminosas comprendidas en la región visible del espectro. Los atributos relacionados con el color son el tono, la saturación y la luminosidad. Ésta depende del tipo de músculo y de la concentración de mioglobina que contenga, además del estado de oxidación del átomo de hierro del grupo hemo y de una posible desnaturalización de la globina (Huloy y Ouhayoun, 1999). El sistema de representación del color más adecuado es el CIELAB (CIE, 1986), ya que produce más uniformidad en la zona de los rojos. Este sistema emplea las coordenadas tricromáticas L^* (luminosidad), a^* (índice rojo) y b^* (índice de amarillo), de manera que a partir de relaciones entre ellas se pueden obtener las coordenadas colorimétricas, la intensidad de color o saturación y el tono. La coordenada L^* es la más relacionada con la valoración visual del consumidor (Murray, 1989). Esta depende de varios factores como el pH, la CRA, la humedad, la integridad de la estructura muscular y, en menor medida, del grado de oxidación de los hemopigmentos (Palombo y Wijngaards, 1990). La coordenada a^* (eje rojo-verde) está relacionada con el contenido de mioglobina mientras la coordenada b^* (eje amarillo-azul) ha sido relacionada con los distintos estados de la mioglobina (Pérez-Álvarez, 1996).

El color de la carne se debe principalmente a tres pigmentos. La deoximioglobina (DeoxyMB) es el pigmento púrpura que se observa en los cortes de carnes frescas; una vez que la DeoxyMb se expone al aire en contacto con el oxígeno ésta se convierte a oximioglobina (OxyMb), la cual le da el color característico a la carne de rojo brillante o cereza. Después de algunas horas y días de exposición al aire, la OxyMb se convierte en metamioglobina (MetMb), en la cual una molécula de agua sustituye la molécula de oxígeno y produce un color marrón. Ambas moléculas, la DeoxyMB y OxyMb son hemoproteínas, en donde el hierro está en forma ferrosa (Fe^{+2}),

mientras la MetMb la posee en la forma férrica (Fe^{+3}). La conversión de la forma ferrosa a la férrica es el resultado del proceso de oxidación (Forrest *et al.*, 2001; Mancini y Hunt 2005).

La CRA también influye sobre el color, cuando la carne tiene agua ligada absorbe más radiación luminosa, dando una impresión de carne mucho más oscura. Por el contrario, cuando el agua en la carne está libre, la superficie aparece húmeda y refleja mayor cantidad de radiación, dando una apariencia mucho más clara (Carballo y López de Torre, 1991).

El periodo *ante-mortem*, el proceso de matanza y las etapas subsecuentes en la conversión de músculo a carne, afectan el color, por la influencia de la velocidad de caída del pH y la disminución de la temperatura. Además, durante el almacenamiento, distribución y venta, los procesos de oxidación y reducción de la mioglobina afectan el color (Honikel, 1998). En aves, el color de la carne es importante, el consumidor lo asocia con la frescura del producto, esta especie se caracteriza por ser la única que tiene músculos con colores muy extremos (blancos u oscuros) ya que se espera que la pechuga tenga un color rosa pálido cuando está cruda, mientras que el músculo de la pierna tenga un color rojo oscuro. La temperatura ambiental extrema o el estrés debido al manejo en vivo de aves antes de procesarse pueden causar una coloración no deseable (Mohamed y Mansour, 2012).

2.10 Textura

Hui *et al.* (2006) definen la textura de la carne como “la dificultad o la facilidad con la que una carne se puede cortar o masticar”. Resultante de la resistencia de dos fuerzas: la relacionada con el tejido conectivo y la relacionada con el tejido miofibrilar. La textura depende de un gran número de factores biológicos intrínsecos, tales como: genética del animal, raza, edad, sexo, régimen de alimentación y tipo de músculo, así como la madurez fisiológica del animal al momento de la matanza, factores de manejo de los animales antes de la matanza y de las condiciones *post-mortem* de la canal y de la carne (Kuber *et al.*, 2004; Hui *et al.*, 2006).

Según King *et al.* (2003), las diferencias en textura se deben principalmente a la localización y función del músculo en la vida del animal. Otros estudios mencionan que la madurez fisiológica del animal y la textura están inversamente relacionadas (Boleman *et al.*, 1996; Lawrence *et al.*, 2001). Esto se relaciona con lo encontrado por Kinsman (1994), quien menciona que muchos de los puentes covalentes que unen las moléculas de tropocolágeno son relativamente lábiles en los animales jóvenes y se hacen más estables conforme aumenta la edad. Este descenso en la

proporción de puentes covalentes lábiles/estables es el responsable de la contribución del colágeno a la dureza de la carne cocinada (Cross *et al.*, 1973). Por otra parte, Van Hoof (1979) afirma que la textura es influenciada por el tipo de fibras musculares, es decir, el tamaño de los haces de fibras musculares, y el número de fibras que cada uno de ellos contiene, ya que los distintos tipos de estas fibras presentan diferentes capacidades de contracción y de retención de agua y, por tanto, reaccionan de distinta forma a la temperatura; además inciden sobre la dureza, la longitud del sarcómero y de las miofibrillas, de forma que cuanto mayor es el estado de contracción mayor es la dureza. Sin embargo, algunos autores consideran que no existe una relación lineal entre estos dos parámetros (Dunn *et al.*, 1993). Otros afirman que la dureza es completamente independiente de la longitud del sarcómero en los músculos de rápida glucólisis *post-mortem* (Smulders *et al.*, 1990). Davis *et al.* (1980) afirman que la dureza disminuye a medida que aumenta la longitud del sarcómero.

El consumidor confiere una mayor importancia a la dureza como principal atributo de la textura, siendo uno de los criterios determinantes de la calidad de la carne (Savell *et al.*, 1989; Lawrie, 1998). Es por ello que se han buscado diferentes métodos para evaluar la textura de la carne, la mayoría de los autores utilizan la prueba de corte, como los métodos Allo-Kramer y Warner-Bratzler (Sams *et al.*, 1990; Cavitt *et al.*, 2005; Schneider *et al.*, 2012).

2.11 Glucólisis

La glucólisis es la ruta primaria en el metabolismo de la glucosa o del glucógeno para sintetizar ATP en condiciones aeróbicas o anaeróbicas, en este proceso se degrada una molécula de glucosa en una serie de reacciones catalizadas enzimáticamente y se producen dos de ácido pirúvico (piruvato en forma de sal). Por esta vía metabólica se obtiene energía (ATP) para las células. Este proceso consiste de diez reacciones enzimáticas catabólicas o degradativas en presencia de enzimas endógenas (quinasas, isomerasas, oxidoreductasas, transferasas y aldolasas), que convierten la glucosa en ácido pirúvico (piruvato), sustrato de la respiración celular (Figura 4). El piruvato formado en la glucólisis puede seguir varias rutas catabólicas distintas (Figura 5). Una de ellas, bajo condiciones anaeróbicas, produce ácido láctico (lactato en forma de sal). El piruvato se metaboliza aeróbicamente en las mitocondrias musculares para lo cual requiere oxígeno, y si se produjera lactato, circula hacia la sangre para transformarse en piruvato. Bajo condiciones musculares anaeróbicas y en ausencia de sangre el piruvato no se

puede metabolizar en las mitocondrias ni puede circular hacia la sangre, entonces se transforma en lactato. A la transformación de la glucosa en lactato sin la posibilidad de transformarse en piruvato por la ausencia de sangre, la denominaremos glucólisis anaeróbica.

Durante el periodo *post-mortem* y en ausencia de sangre (o ausencia de oxígeno), la glucólisis anaeróbica es la única fuente de energía de las células del músculo y está favorecida por la interrupción de la circulación de la sangre dado el proceso de matanza del animal. Cuando no hay circulación, los músculos ya no pueden obtener energía por medio de la respiración, ya que la actividad mitocondrial cesa por la reducción del oxígeno interno. En consecuencia el glucógeno, la principal reserva de energía del músculo, se convierte en ácido láctico, por la glucólisis *post-mortem*. En comparación con la respiración, la glucólisis *post-mortem* es una forma ineficiente de conseguir energía, el rendimiento de ATP en la glucólisis es de 2 a 3 moles de ATP por mol de glucosa, comparado con 38 ATP's en la respiración aerobia (López y Casp, 2004).

Durante el proceso, se produce la activación de la ATP-asa no contráctil de la miosina, en lugar de la ATP-asa contráctil de la actomiosina, como consecuencia el sistema enzimático citocromo no puede actuar, imposibilitando la resíntesis del ATP a partir de esta enzima. La acción continua del ATP-asa no contráctil de la miosina, reduce progresivamente el nivel de ATP produciendo simultáneamente fosfato inorgánico, que estimula la degradación del glucógeno a ácido láctico.

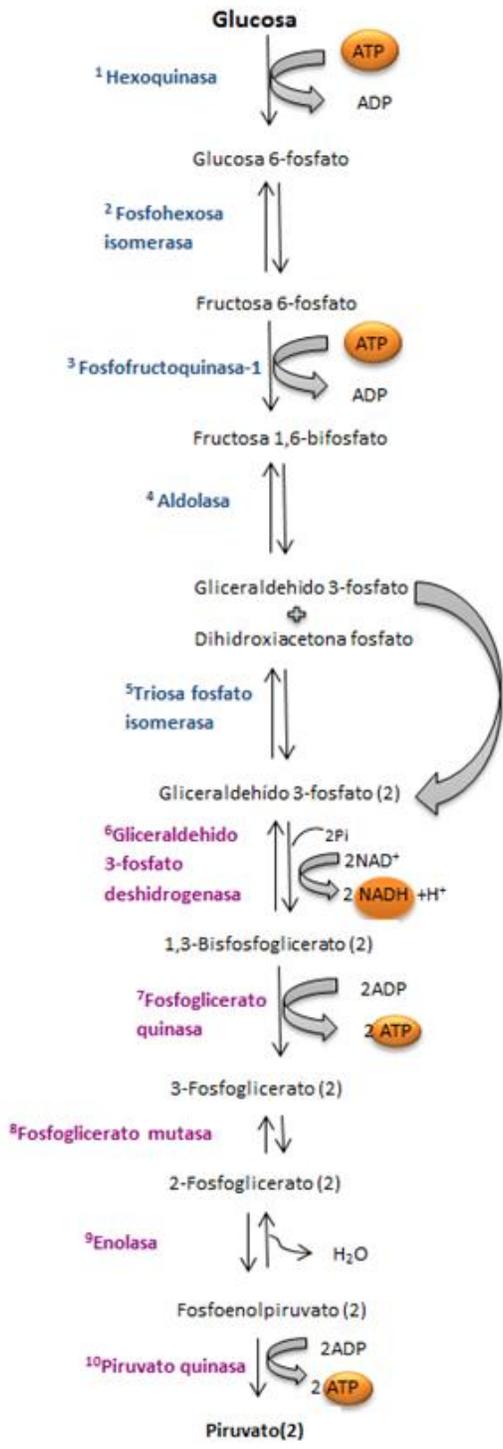


Figura 4. Proceso de glucólisis. En condiciones anaeróbicas el piruvato produce ácido láctico, por lo que se obtiene la siguiente ecuación global balanceada a partir de glucosa: $C_6H_{12}O_6$ (glucosa) + 2 ADP + 2 P \rightarrow 2 ATP + 2 H₂O + 2 C₃H₆O₃ (ácido láctico).

Fuente: Adaptado de Lehninger (2001).

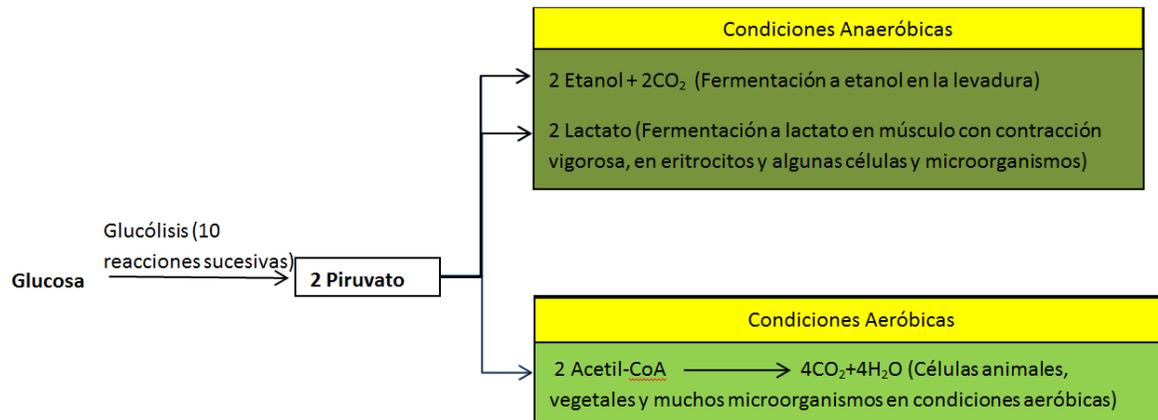


Figura 5. Destinos catabólicos del piruvato producido en la glucólisis aerobia y anaerobia.

Fuente: Adaptado de Lehninger, 2001.

La reducida disponibilidad de ATP aumenta la dificultad de mantener la integridad estructural de las proteínas, contribuyendo también a ello la disminución de pH por la acumulación de ácido láctico. El descenso de pH hace que las proteínas miofibrilares se aproximen a sus puntos isoeléctricos y frecuentemente la desnaturalización va acompañada de una reducida CRA de dichas proteínas. La conversión de glucógeno a ácido láctico continuará hasta que se alcance un pH en el que se inactiven las enzimas que efectúan su degradación.

3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1 Objetivo general

Evaluar la calidad de la carne de pechuga de pollo (*pectoralis major*) a distintos niveles de estrés *ante-mortem*.

3.2 Objetivo específico

Evaluar el efecto del estrés calórico y tiempo de espera a la matanza de pollos de engorda, sobre el color y las características fisicoquímicas de la carne.

3.3 Hipótesis

El estrés calórico y tiempo de espera prolongado a la matanza inducen cambios en el color y las características fisicoquímicas de la carne de pollo.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Tecnología de la Carne (LAB-TC) del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Los análisis fisicoquímicos se realizaron en el Laboratorio de Ciencia de los Alimentos (LAB-CA) de la misma Institución, ubicada en la Carretera Federal Córdoba-Veracruz Km 348, Congregación Manuel León, Municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz; el cual se localiza geográficamente a 19° 27' latitud N y 98° 53' longitud O, a 720 msnm. El clima predominante es cálido húmedo, con precipitaciones de 1807.3 mm y temperatura media anual de 23 °C (García, 1998).

4.2 Animales y diseño experimental

Los pollos empleados en el presente experimento fueron de la línea Ross 308, de seis semanas de edad, los cuales se obtuvieron de una granja comercial aledaña al Colegio de Postgraduados campus Córdoba, con un peso vivo (PV) de 2.8 kg, a los cuales se les capturó y transportaron por 10 minutos a un corral (densidad 10 pollos m⁻²) con agua a acceso libre, cerca de LAB-TC, 10 h antes de la matanza.

Un total de 180 pollos se emplearon en la investigación, con los cuales se formaron cinco unidades experimentales con 12 pollos cada una, colocada cada unidad experimental en una jaula de plástico durante en tiempo de espera, a las que se les asignaron aleatoriamente los siguientes tratamientos: 2h NO-EC, tratamiento testigo (2 h de espera a la matanza a temperatura ambiente promedio de 24 °C), 2h EC (2 h de espera a la matanza en condiciones de estrés calórico a 40 °C), y 8h NO-EC (8 h de espera a la matanza a temperatura ambiente promedio de 24 °C). Durante el tiempo de espera a la matanza la temperatura ambiente se monitoreó con una datalogger (WatchDog 1000 Series Micro Stations, USA).

El efecto de los tratamientos se evaluó en las características fisicoquímicas (pH, color, CRA, PG, RC, Rco) de la carne de las aves, para esto seis aves de cada unidad experimental se sacrificaron al azar de manera comercial, aplicando aturdimiento eléctrico con un cuchillo aturridor (MidwestVS200, USA), cinco minutos de desangrado, escaldado a 59 °C durante 3.5 min, desplume y evisceración manual. Después de la evisceración las canales se enfriaron en agua con hielo durante 5 h. Posteriormente se removió la pechuga y se almacenó en refrigeración a 4 °C durante 12 horas.

Para evaluar el desarrollo del *rigor mortis* de la pechuga de pollo se utilizaron las otras seis aves de cada unidad experimental (jaula). Las aves se sacrificaron de manera comercial, aplicando aturdimiento eléctrico y 5 min de desangrado. Inmediatamente después del desangrado se extrajo la pechuga, y se almacenaron en refrigeración a 4°C dentro de un film de plástico a fin de evitar las pérdidas de agua por evaporación. Posteriormente se midió el color con un colorímetro (Minolta CR-400/410, Tokio, Japón) y pH con un potenciómetro portátil (HANNA, HI 99163) en los siguientes tiempos *post-mortem*: 15 min, 1, 2, 4, 8, 24, 48, 96 y 144 h.

4.3 Determinación de color

El color se midió con el sistema Hunder Lab, utilizando un colorímetro (Modelo CR-400/410, Minolta, Tokio, Japón) para las variables L* (luminosidad), a* (rojo-verde) y b* (amarillo- azul) (CIE, 1978). Una vez calibrado el equipo con un blanco se analizó el color en tres puntos sobre la superficie interna del músculo de la pechuga (*pectoralis major*). De los tres valores de cada una de las variables de color L*, a* y b*, se reporta la media, esto debido a que el color no totalmente homogéneo en el musculo (Zhang *et al.*, 2009; Xu *et al.*, 2011).

4.4 Determinación del pH

Para la medición del pH en las seis canales a las cuales se les midió las características fisicoquímicas a las 24 horas *post-mortem*, se tomaron cinco gramos de carne del músculo (*pectoralis major*) por duplicado esto para evitar falsas lectura, agregándole 10 mL de agua bidestilada, homogenizando por 2 minutos con un polytron (Modelo PT-1200, Kinematica AG, Littau, Zuiza). Posteriormente se midió el pH en la mezcla sumergiendo el electrodo del potenciómetro (Modelo pH 1100, Oaklon, Eutech instruments, Singapur), tomando el valor hasta que este se estabilizó la lectura. El potenciómetro se calibró a temperatura ambiente, con los tampones a pH 4,01 y 7,006. La media se reporta como resultado final (Zhang *et al.*, 2009; Xu *et al.*, 2011).

En las canales a las cuales se les caracterizó el desarrollo del rigor mortis a través de pH, se utilizó un potenciómetro provisto de un electrodo de punción (Modelo HI 99163, Hanna, Texas, USA). El valor de pH se determinó mediante lectura directa, introduciendo el electrodo de punción en el músculo *pectoralis major* almacenado en refrigeración a 4 °C a los distintos

tiempos *post-mortem*. La medida se realizó una vez calibrado el equipo con los tampones a pH 4,01 y 7,006, eligiendo para todas las muestras puntos similares en la carne.

4.5 Determinación de la Capacidad de Retención de Agua (CRA)

La CRA se realizó utilizando la metodología modificada propuesta por Guerrero *et al.*, (2002). Se pesaron 5 gramos de carne finamente picada en un tubo de centrifuga, se homogenizó con 8 mL de una disolución de cloruro de sodio (J.T. Baker, Phillipsburg, NJ) 0.6 M. La mezcla se agitó por un minuto con una varilla de vidrio y los tubos se colocaron en baño con hielo durante 30 min. Posteriormente las muestras se centrifugaron durante 15 min a 10,000 r.p.m en una centrifuga (Modelo 420101, Clay Adams, Sparks, USA). El sobrenadante se decantó y se midió el volumen en una probeta, el cual representa el agua no retenida de los 8 mL de la solución de cloruro de sodio añadidos. Se reportó la cantidad de mL de solución retenida en 100 g de carne.

4.6 Determinación de pérdida por goteo

Una muestra de filete de pechuga de 30 ± 1.5 g, se pesó en una balanza analítica (Modelo SPU 202, Scout-Pro, Parsippany, NJ) por duplicado y se colocó en un vaso de plástico suspendido con hilo, evitando que el filete tocara las paredes del vaso. Las muestras se almacenaron a 4 °C durante 24 h y se volvieron a pesar. Las pérdidas por goteo a las 24 h *post mortem*, se expresó como el porcentaje de pérdida de peso de la muestra con respecto a su peso inicial.

4.7 Determinación de rendimiento por cocción (RC)

La mitad de la pechuga del ave se pesó a las 24 horas, previó almacenamiento en refrigeración a 4 °C. A continuación se colocaron en charolas de aluminio, cada una de las charolas se tapó con papel aluminio y se sometieron a un proceso de cocción en un horno eléctrico de convección (Hobart, HEC-5, México) a 180 °C hasta alcanzar una temperatura interna de 74 °C. La temperatura interna se monitoreó con un termopar (Modelo WD-35427-10, Oakton instruments, Beijín, China) acoplado con un termocople. El horno se precalentó durante 20 min. Al término de la cocción la carne se pesó y los valores se expresaron como porcentaje de la muestra con respecto a su peso inicial.

4.8 Determinación de resistencia al corte (RCo)

La determinación de la resistencia al corte de la carne, la mitad de cada una de las pechugas de las aves se coció en un horno de convección eléctrica (Hobart, HEC-5, México), a 180 °C, a una temperatura interna de 74 °C. Las muestras se colocaron en el horno, dentro de charolas de aluminio, cada una de las charolas se cubrió con papel aluminio, la temperatura interna de las muestras se monitoreó con un termopar (Modelo WD-35427-10, Oakton instruments, Beijín, China) acoplado con un termocople. Posteriormente, las muestras se pesaron y envolvieron en papel aluminio, y se mantuvieron en refrigeración a 4 °C durante 12 h.

La textura se midió en un texturómetro (Modelo EZ-SX short, Dübendorf, suiza). La resistencia al corte se determinó utilizando 2 tipos de celdas, Allo-Kramer (AK) con 4 navajas y navaja Warner Bratzler (WB). Las muestras se tomaron de diferentes partes de la pechuga de pollo para cada una de las navajas, como se muestra en la Figura 6.

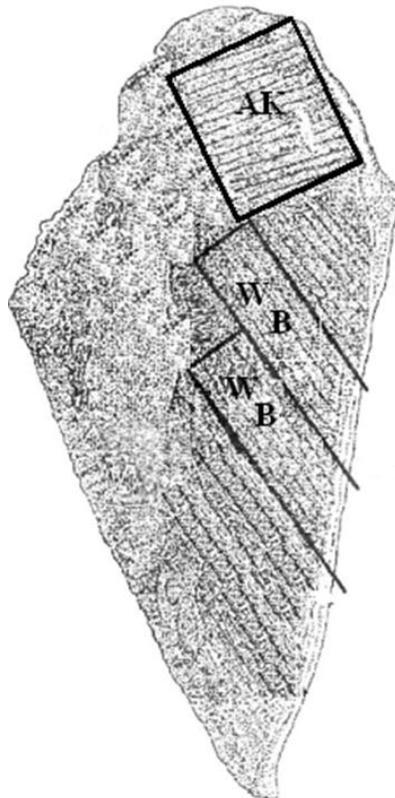


Figura 6. Muestra de carne de pechuga de pollo para medir la resistencia al corte con navajas (AK) Allo- Kramer (kg g^{-1}) y (WB) Warner-Bratzler (kg cm^{-2}). (Adaptado de Lyon y Lyon 1996).

Para medir la resistencia al corte con la cuchilla AK (kg por g) se cortaron muestras de la parte del músculo *pectoralis major* de (40 x 20 x 7 mm) por cuadruplicado, en sentido de las fibras musculares (Sams, 1990; Lyon y Lyon, 1996; Cavitt et al., 2005), como se muestra en la Figura 6. Cada muestra se pesó antes de realizar el corte y el programa TRAPEZIUM Rheometer del texturómetro (Shimadzu, EZ-SX), se programó a una fuerza de carga de 5 kg, la velocidad de la cuchilla fue de 500 mm min⁻¹. Los cuatro valores expresados en kg por gramo de muestra se promediaron para cada pechuga.

Para medir la resistencia al corte con la navaja WB, se cortaron muestras del músculo *pectoralis major* (10 x 10 x 5 mm) por cuadruplicado según Barbut (2005), en sentido de las fibras musculares, como se indica en la Figura 6. El programa TRAPEZIUM Rheometer del texturómetro (Shimadzu, EZ-SX), se programó a una velocidad de la cuchilla de 300 mm min⁻¹, las muestras se colocaron sobre la plataforma de ranurado con las fibras musculares situadas perpendicularmente. Conforme la navaja se desplaza a través de la ranura de la plataforma, las muestras se cortaron y se registró la resistencia máxima de corte. Se reporta el promedio de los cuatro valores obtenidos por muestra en kg por cm².

4.9 Análisis estadístico

El efecto de los tratamientos sobre las características fisicoquímicas en la carne, se evaluó en seis aves al azar de cada unidad experimental (jaula). A las 24 horas *post-mortem* se midió el pH, color, textura, CRA, pérdidas por goteo, rendimiento por cocción. Cada una de las variables se evaluó con un Diseño Completamente al Azar, con tres tratamientos y cinco repeticiones, con 6 animales por unidad experimental, antes de realizar en análisis de varianzas con este modelo se verificaron los supuestos; independencia, normalidad y homogeneidad de varianzas. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS 9.3 (2011). Cuando se observaron diferencias estadísticas, se realizó una comparación de medias, utilizando la prueba de Tukey.

Modelo completamente al azar

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$$

y_{ij} = Es la variable aleatoria que mide la respuesta del sujeto experimentado en el j-esimo individuo que recibió el i-esimo tratamiento

μ = Es el promedio general si no se hubiese aplicado ningún tratamiento

τ_i = Es el efecto del tratamiento i

e_{ij} = Es el error experimental

Para la evaluación del efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de *rigor mortis* se utilizó las otras seis aves de cada unidad experimental. Las variables medidas fueron el pH y color en los siguientes tiempos *post-mortem*: 15 min, 1, 2, 4, 8, 24, 48, 96, y 144 h. Resultando para esta parte del experimento un análisis de medidas repetidas en el tiempo, mismas que se analizaron utilizando el procedimiento del paquete estadístico SAS 9.3 (2011).

Medidas repetidas en el tiempo

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \delta_{j(i)} + \varphi_{k(ij)} + P_l + (\tau P)_{il} + \varepsilon_{ijkl}$$

Y_{ijkl} = Variable respuesta del periodo k, repetición j y tratamiento i.

μ = Media general

τ_i = Efecto fijo del i-ésimo tratamiento ($i = 1, 2, 3$)

$\delta_{j(i)}$ = Efecto aleatorio de la repetición anidada dentro de tratamiento ($j = 1, 2, \dots, 5$)

$\varphi_{k(ij)}$ = Efecto aleatorio del animal, anidado en la repetición ($l=1, 2, \dots, 6$)

P_l = Efecto fijo del l-ésimo periodo ($l = 1, 2, \dots, 9$)

$(\tau P)_l$ = Interacción tratamiento por periodo

ε_{ijkl} = Error aleatorio de la variable repetida del j-ésimo animal del i-ésimo tratamiento del k-ésimo periodo

5. RESULTADOS

Características fisicoquímicas de la carne

Los resultados de pH, color, PG, rendimiento por cocción, CRA y resistencia al corte de la carne de pechuga se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Efecto de estrés *ante-mortem* sobre las características fisicoquímicas en carne de pechuga de pollo

| Variable, 24 h <i>post-mortem</i> | Tratamiento | | |
|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | 2h NO-EC | 2h EC | 8h NO-EC |
| pH | 6.05 ± 0.10 ^b | 5.64 ± 0.06 ^c | 6.34 ± 0.18 ^a |
| L* | 51.25 ± 0.46 ^b | 56.06 ± 0.76 ^a | 46.07 ± 1.45 ^c |
| a* | 1.14 ± 0.45 ^b | -0.01 ± 0.34 ^c | 2.27 ± 0.31 ^a |
| b* | 13.55 ± 0.51 ^b | 16.38 ± 0.77 ^a | 11.87 ± 0.56 ^c |
| PG (% o g 100 g ⁻¹) | 3.99 ± 0.37 ^b | 4.85 ± 0.34 ^a | 3.56 ± 0.47 ^b |
| RC (% o g 100 g ⁻¹) | 84.04 ± 2.05 ^a | 75.37 ± 1.58 ^b | 84.22 ± 1.90 ^a |
| CRA (mL/100 g) | 52.0 ± 5.02 ^a | 32.4 ± 4.83 ^b | 52.2 ± 2.61 ^a |
| RCo-WB (kg cm ⁻²) | 2.57 ± 0.22 ^b | 3.54 ± 0.42 ^a | 1.91 ± 0.11 ^c |
| RCo-AK (kg g ⁻¹) | 1.99 ± 0.10 ^b | 3.14 ± 0.65 ^a | 1.52 ± 1.58 ^c |

L* = luminosidad; a* = índice de rojo; b* = índice de amarillo; CRA = Capacidad de retención de agua (mL 100 g⁻¹ de carne); PG = Pérdidas por goteo (g 100 g⁻¹); RC= Rendimiento por cocción (g 100 g⁻¹); RCo-WB = Resistencia al corte con navaja Warner-Bratzler (kg cm⁻²); RCo-AK = Resistencia al corte con navaja Allo-Kramer (kg g⁻¹). 2h NO-EC = 2 horas de espera a la matanza sin estrés calórico (~24 °C); 2h EC = 2 horas de espera a la matanza con estrés calórico (~40 °C); 8h NO-EC = 8 horas de espera a la matanza sin estrés calórico (~24 °C).

a, b, c: medias con literales distintas en cada hilera son estadísticamente diferentes (P < 0.05).

El pH de la carne a 24 h *post-mortem* fue diferente entre los tres tratamientos ($P < 0.05$). El menor valor se observó en la carne de pechuga de pollos sometidos a estrés calórico antes de la matanza; el valor más alto se encontró en el tratamiento con 8 h de espera a la matanza, y un valor intermedio en las aves con 2 h de espera sin estrés calórico (Cuadro 2).

Las variables de color, L^* , a^* y b^* , mostraron diferencias ($P < 0.05$) entre tratamientos. En luminosidad (L^*) e índice de amarillo (b^*) se encontró que la carne de pechuga sometidos a estrés calórico antes de la matanza presentó los mayores valores, seguida por la carne del tratamiento con 2h NO-EC y los valores más bajos se encontraron en la carne del tratamiento 8h NO-EC. En cuanto al índice de rojo, el tratamiento con 8 h de espera produjo el mayor valor, seguido consecutivamente por el tratamiento de 2 h de espera sin estrés y 2 h de espera con estrés calórico (Cuadro 2).

Respecto a la variable pérdidas por goteo, también se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$), un porcentaje más alto de pérdidas por goteo se observó en el tratamiento con 2h EC, comparado con los otros tratamientos. Un comportamiento diferente se encontró en el rendimiento por cocción, la carne de los tratamientos con 2 y 8 h de espera sin estrés calórico presentaron valores más altos que la carne del tratamiento con 2h EC.

En CRA, la carne del tratamiento con 2h EC presentó un valor menor ($P < 0.05$) que la carne de los otros tratamientos (Cuadro 2).

Con la resistencia al corte, con ambos métodos evaluados (Allo-Kramer y Warner-Bratzler), la carne del tratamiento con 2h EC presentó el valor más alto, seguido por los valores de la carne del tratamiento con 2h NO-EC, y los valores más bajos se encontraron en la carne del tratamiento con 8h (Cuadro 2).

Evaluación del desarrollo del *rigor mortis*

En cuanto al análisis de la evolución del desarrollo del *rigor mortis* en pechugas de pollo refrigeradas a 4 °C mediante las variables pH y color medidas en diferentes tiempos *post-mortem*, su comportamiento se muestra en la Figura 6. El pH de la carne a las 0.25 h *post-mortem* no mostró diferencias entre tratamientos; sin embargo, en los demás tiempos *post-mortem* sí hubo diferencias ($P < 0.05$), los valores mayores se observaron en la carne del tratamiento de 8 h NO-EC, seguidos por la carne del tratamiento con 2h NO-EC, se observó una interacción a las 4 h *post-mortem* en estos tratamientos, los valores más bajos se encontraron en la carne de las aves sometidas a estrés calórico, mostrando diferencias ($P < 0.05$) respecto a los demás tratamientos desde 1 hasta las 144 h *post-mortem*.

El descenso del pH en la carne fue más rápido en carne de aves sometidas a 2h EC, seguido de la carne del tratamiento 2h NO-EC, y un descenso menor en carne del tratamiento 8h NO-EC (Figura 7).

Respecto al índice de luminosidad (L^*) los valores más altos se observaron en carne del tratamiento de 2 h EC, los cuales fueron incrementando conforme pasó el tiempo *post-mortem*, observándose diferencias ($P < 0.05$) respecto a la carne del tratamiento de 2 h NO-EC hasta las 24 horas *post-mortem*, mientras que la carne del tratamiento de 8h NO-EC mostró diferencias ($P < 0.05$) en todos los tiempos *post-mortem* con respecto al tratamiento 2 h EC. Los tratamientos 2 y 8 h de espera sin estrés calórico no mostraron diferencias entre sí ($P > 0.05$) excepto a las 144 h *post-mortem* (Cuadro 3).

Los valores de a^* mostraron diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$), valores mayores se observaron en la carne del tratamiento de 8h NO-EC, los valores más bajos se encontraron en el tratamiento de 2h EC y valores intermedios en carne de 2h NO-EC (Cuadro 3).

Respecto a los valores de b^* los valores mayores se observaron en la carne del tratamiento de 2h EC, mostraron diferencias respecto a los demás tratamientos ($P < 0.05$) en todos los tiempos *post-mortem*, valores menores se encontraron en la carne de 8h NO-EC y valores intermedios a las dos horas de espera sin estrés calórico no habiendo diferencias estadísticas entre estos tratamientos (Cuadro 3).

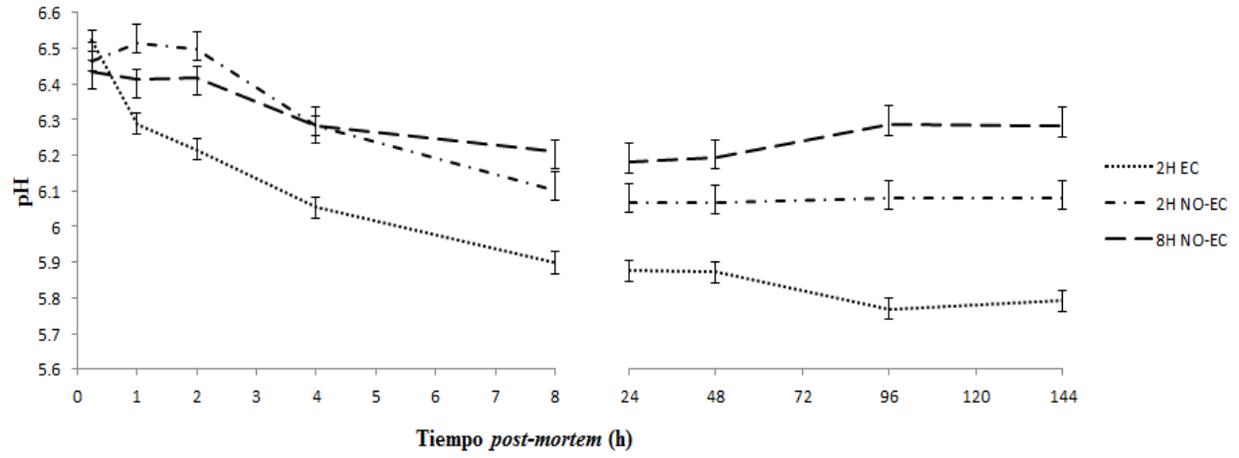


Figura 7. Valores de pH en carne de pechuga de pollo a diferentes tiempos *post-mortem*.
 2h NO-EC = 2 horas de espera sin estrés calórico (24 °C); 2h EC = 2 horas de espera con estrés calórico (40 °C); 8h NO-EC = 8 horas de espera sin estrés calórico.

Cuadro 3. Efecto de estrés *ante-mortem* sobre el color de la carne de pechuga de pollo

| Tiempo (h) | 2h NO-EC | | | 2h EC | | | 8h NO-EC | | |
|---------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | L* | a* | b* | L* | a* | b* | L* | a* | b* |
| 0.25 | 46.94 ± 3.23 ^{ab} | 1.28 ± 0.57 ^{ab} | 13.16 ± 1.86 ^b | 49.52 ± 3.23 ^a | 0.59 ± 0.74 ^b | 16.93 ± 1.55 ^a | 44.77 ± 3.21 ^b | 2.09 ± 0.84 ^a | 10.86 ± 2.11 ^b |
| 1 | 48.53 ± 0.84 ^{ab} | 1.51 ± 0.43 ^{ab} | 14.63 ± 1.42 ^{ab} | 50.32 ± 2.21 ^a | 1.01 ± 0.72 ^b | 16.48 ± 2.51 ^a | 47.01 ± 2.42 ^b | 2.26 ± 0.89 ^a | 12.10 ± 1.72 ^b |
| 2 | 48.89 ± 1.85 ^{ab} | 2.04 ± 0.63 ^{ab} | 14.70 ± 1.37 ^b | 51.30 ± 2.13 ^a | 1.13 ± 0.56 ^b | 19.05 ± 2.81 ^a | 46.92 ± 3.35 ^b | 2.45 ± 0.94 ^a | 12.68 ± 2.28 ^b |
| 4 | 48.56 ± 2.47 ^{ab} | 1.67 ± 0.42 ^b | 15.03 ± 1.50 ^b | 49.99 ± 2.39 ^a | 1.05 ± 0.49 ^c | 19.66 ± 2.79 ^a | 46.23 ± 3.37 ^b | 2.74 ± 0.89 ^a | 13.02 ± 2.41 ^b |
| 8 | 47.19 ± 1.22 ^{ab} | 1.57 ± 0.51 ^b | 15.03 ± 0.99 ^b | 50.34 ± 2.40 ^a | 0.92 ± 0.73 ^b | 18.10 ± 2.49 ^a | 45.03 ± 2.40 ^b | 2.56 ± 0.68 ^a | 12.99 ± 2.63 ^b |
| 24 | 46.20 ± 2.83 ^b | 1.67 ± 0.83 ^b | 14.67 ± 1.01 ^b | 51.11 ± 2.47 ^a | 0.81 ± 1.07 ^b | 18.31 ± 1.53 ^a | 43.89 ± 2.47 ^b | 2.76 ± 1.05 ^a | 12.89 ± 2.39 ^b |
| 48 | 45.86 ± 1.12 ^b | 1.50 ± 0.45 ^a | 15.34 ± 0.97 ^b | 52.63 ± 2.42 ^a | 0.39 ± 0.96 ^b | 18.67 ± 2.36 ^a | 42.73 ± 2.42 ^b | 2.50 ± 0.98 ^a | 13.31 ± 1.43 ^b |
| 96 | 45.31 ± 1.33 ^b | 1.65 ± 0.33 ^a | 15.53 ± 1.24 ^b | 52.72 ± 2.29 ^a | -0.40 ± 0.84 ^b | 18.72 ± 1.73 ^a | 42.73 ± 2.29 ^b | 2.62 ± 0.99 ^a | 13.35 ± 1.22 ^b |
| 144 | 46.42 ± 0.99 ^b | 1.69 ± 0.48 ^a | 15.42 ± 1.20 ^b | 52.65 ± 2.40 ^a | -0.13 ± 0.76 ^b | 18.64 ± 2.51 ^a | 45.15 ± 2.40 ^c | 2.36 ± 0.86 ^a | 14.08 ± 1.98 ^b |

L* = luminosidad; a* = índice de rojo; b* = índice de amarillo. 2h NO-EC = 2 horas de espera sin estrés calórico (24

°C); 2h EC = 2 horas de espera con estrés calórico (40 °C); 8h NO-EC = 8 horas de espera sin estrés calórico.

a, b, c: medias con literales distintas en cada columna son diferentes (P < 0.05).

6. DISCUSIÓN

Características fisicoquímicas en la carne de pollo

Se observó un menor valor de pH en la pechuga expuesta a estrés calórico por 2 h antes de la matanza, similar a lo reportado en otras investigaciones (Howlinder y Rose, 1989; Northcutt *et al.*, 1994; Mckee y Sams, 1997; Sandercock *et al.*, 2001). El estrés calórico *ante-mortem* produjo valores de pH menores a los de la carne normal (~5.8-5.9) considerados valores típicos de carne que ha desarrollado la condición PSE (Barbut *et al.*, 2005); esto se explica porque el estrés calórico *ante-mortem* induce una mayor liberación de calcio del retículo sarcoplástico, el cual acelera la glucólisis muscular *post-mortem*, produciendo una mayor cantidad de ácido láctico que disminuye el pH de la carne (Yue *et al.*, 2010).

Se encontró que en el tratamiento con 8 h de espera a de la matanza ocasionó un valor de pH alto en la carne, típico de la carne OFS (Barbut *et al.*, 2005). Que indica que las aves enjauladas en esta condición ocasiona una disminución del glucógeno muscular, y en consecuencia una menor caída del pH, por una menor producción de ácido láctico (Zhang *et al.*, 2009). La carne con la condición OFS presenta características de calidad inferiores a la carne normal, tiene una apariencia más oscura, lo que afecta la preferencia del consumidor al momento de la compra (Quiao *et al.*, 2002).

Respecto al color se encontró que la carne de aves sometidas a estrés calórico tuvo mayores índices de L* y b*. Resultados similares han sido reportados en otras investigaciones, los cuales reportan valores de 52.5 a 54.1 de L* y 12.54 a 14.93 de b* en aves sometidas a estrés intenso por transporte antes de la matanza (Stern *et al.*, 1995; Yue *et al.*, 2010) y calor (Howlinder y Rose, 1989; Sandercock *et al.*, 2001, Schneider *et al.*, 2012). Estos valores son característicos de carne PSE, debido a que tienen un color más pálido y menor color rosado que el de la carne normal (Owens y Sams, 2000), lo cual se explica por un incremento en la dispersión de la luz (Lawrie, 1998; Swatland, 1993) causada por la desnaturalización de las proteínas sarcoplásmicas (McKee y Sams, 1997; Wynveen *et al.*, 1999).

Las aves sometidas a estrés prolongado (8 h de espera a la matanza), tuvieron valores de L* y b* menores, característicos de una carne OFS, (Barbut *et al.*, 2005) dando una apariencia oscura, 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 *et al.*, 1997; Allen *et al.*, 1998). Por otro lado en carne con valores de pH altos (Figura 7; 8h NO-EC), las fibras están turgentes y dispuestas conjuntamente en un estrecho empaquetamiento, presentando una barrera a la difusión del oxígeno en su superficie, y como resultado, la capa roja de oximioglobina superficial se hace mucho más delgada que en la carne normal y la capa oscura subyacente de mioglobina se hace más aparente (Boulianne y King, 1998).

Un comportamiento diferente se encontró en el índice de a^* , la carne de los tratamientos 2 y 8 h de espera sin estrés calórico presentaron mayores valores que la carne de 2 h de espera con estrés calórico. Estos datos son semejantes a lo encontrado por Schneider *et al.* (2012), quienes reportaron que aves sometidas a tiempo de espera largo en grilletes tuvieron valores altos de enrojecimiento (3.29) con respecto a los de tiempo corto (2.62). Esto sugiere que un estrés intenso por calor en corto tiempo tiende a tener un color menos rojo a causa de la desnaturalización de la mioglobina, que provoca su oxidación a metamioglobina, reduciendo la intensidad de color rosado (Qiao *et al.*, 2001).

El estrés calórico por dos horas antes de la matanza provocó en carne mayores pérdidas por goteo, mientras que la carne de aves sometidas a estrés prolongado (8 h de espera) tuvo menores porcentajes de goteo respecto a la anterior. Un comportamiento similar ha sido reportado por Woelfel *et al.* (2002) y Schneider *et al.* (2012), quienes obtuvieron valores de 2.24 a 4.38% de pérdida por goteo en carne PSE de aves sometidas a estrés por calor a 30 °C mientras que en carne de aves en condiciones termo neutrales presentaron de 2.19 a 3.32 % de pérdida.

Esto se debe a que el porcentaje de pérdida por goteo está relacionado con los valores de pH, ya que el descenso de este o la adición de cationes divalentes están asociados con un incremento del volumen disponible para la retención de agua (Wismer-Pedersen, 1994). Además la carne del tratamiento de estrés calórico presenta mayor cantidad de agua libre en músculo la cual está retenida por fuerzas superficiales, a causa de un pH bajo resultando mayor porcentaje de goteo el cual se caracteriza por una apariencia roja acuosa (Lesiak *et al.*, 1996). Esto representa un problema económico al reducir peso en carne y provocar una acumulación de líquido alrededor de ésta, ocasionando rechazo por el consumidor al deteriorarse su apariencia (Warris *et al.*, 1987; Warner *et al.*, 1993).

La variable CRA en la carne se vio afectada por la exposición de las aves a estrés calórico por 2 h antes de la matanza la carne de este tratamiento presentó menor CRA. La razón principal a este

comportamiento se debió al bajo pH final de la carne causado por una mayor producción de ácido láctico, ya que éste tiene una acción directa en determinar el número de grupos reactivos de las proteínas y su capacidad de ligar agua (Debut *et al.*, 2003). La carne de aves sometidas a estrés calórico al tener un pH final bajo cercano al punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares aumenta la desnaturalización de las mismas, reduciendo considerablemente su CRA (Barbut *et al.*, 2005). El resultado es carnes PSE debido a la poca capacidad de retener líquidos. Desde el punto de vista del procesamiento su baja retención de agua la hace inadecuada para la elaboración de productos cárnicos (Alvarado y Sams, 2003).

Por otra parte los tratamientos de 2 y 8 h de espera sin estrés calórico antes de la matanza presentaron mayor retención de agua a causa de que al presentar un pH elevado la desnaturalización de proteínas se reduce (Young *et al.*, 2004), haciendo esta carne apropiada para productos del tipo emulsión cárnica y jamones cocidos (Qiao *et al.*, 2002; Alvarado y Sams, 2003).

El estrés calórico indujo un menor rendimiento por cocción en carne de pechuga, lo cual es congruente con lo reportado por McKee y Sams (1998) y Owens y Sams (2000) quienes reportaron 22.4 % de pérdidas por cocción en carne de aves sometidas a estrés calórico. Esto se explica debido a que esta carne tuvo valores de pH bajos (Hahn *et al.*, 2001), y por tanto una menor CRA, lo cual afectó el rendimiento por cocción (Sandercock *et al.*, 2001; Debut *et al.*, 2003). Esto tiene implicaciones económicas en la industria, ya que se requiere que la pérdidas de líquidos durante la cocción sean mínimas, para lograr un máximo rendimiento (Smith y Young, 2007).

La textura en carne se vio afectada por el estrés calórico de 2 h antes de la matanza, la carne de este tratamiento presentó valores de resistencia al corte mayores tanto con navajas Allo-Kramer como con Warner Bratzler, lo cual coincide con otras investigaciones realizadas en carne de aves sometida a estrés por calor intenso antes de la matanza. Sandercock *et al.* (2001) y Schneider *et al.* (2012) reportaron valores mayores de 4.60 a 4.63 kg g⁻¹ con la AK respecto a aves en condiciones termo neutrales. Es importante señalar que la carne del tratamiento con estrés calórico tuvo características PSE, ocasionando mayor pérdida de agua por goteo (Young *et al.*, 2004; Barbut *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2009) y por cocción, provocando una compactación de las fibras musculares afectando la textura (Zhuang y Savage, 2012).

Los valores obtenidos con la navaja WB en carne de los tratamientos 2 y 8 h de espera a la matanza sin estrés calórico, Lyon y Lyon (1996) los describe como muy sensibles, esto debido a que la resistencia al corte fue medida ya pasado el *rigor mortis*, el cual influye sobre la dureza de la carne (McKee y Sams 1998; Cavitt *et al.*, 2005), además, que esta carne presentó mayor CRA haciéndola menos resistente al corte (Young *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2009). La textura es un factor importante ya que muchas veces de ella depende la aceptación de un producto cárnico por el consumidor (Rammouz *et al.*, 2004; Zhuang y Savage, 2012).

La resistencia al corte con la navaja WB y AK presento el mismo comportamiento de resistencia al corte en los tres tratamientos, reafirmado lo reportando por Lyon y Lyon, (1996) quienes mencionan que no hay diferencia en el comportamiento del resultado de la resistencia al corte respecto al método utilizado siempre y cuando el corte sea evaluado en el mismo músculo, misma orientación de la fibras musculares y cantidades similares o ausencia de tejido conectivo.

Desarrollo del *rigor mortis*

En el tratamiento 2h EC mostró una caída rápida de pH en los primeros tiempos *post-mortem* en comparación con los demás tratamientos, ocasionado por una glucolisis rápida, produciendo la aparición de la condición de carne PSE (Warris y Brow, 1987; Offer y Knight, 1988; Fernandez *et al.*, 1994; Santos *et al.*, 1994; Van-Laack y Lane, 2000), esto debido a que la canal al tener una temperatura alta provoca la desnaturalización de parte de la proteína miofibrilares. Mientras que aves sometidas a un tiempo de espera prolongado a la matanza (8 h) la caída de pH fue menor, confirmando lo encontrado por Zhang *et al.*, (2009), quienes indican que este comportamiento es debido a una menor producción *post-mortem* de ácido láctico.

Los índices de L* a* y b*, tendieron a cambiar con el tiempo en los tres tratamientos. Estos cambios han sido reportados por Cavitt *et al.* (2005), quienes indican que ello se debe al desarrollo del *rigor mortis* y los cambios asociados en la estructura muscular durante el proceso de conversión de músculo a carne. Mientras que Mancini *et al.* (2005) lo relacionan con la presencia de deoximioglobina en los primeros tiempos *post-mortem* en la carne, y una vez que esta se expone al aire en contacto con oxígeno se convierte a oximioglobina, la cual posee una apariencia brillante, y después de algunas horas y días de exposición se convierte a metamioglobina de apariencia menos brillante. En este sentido, en color toma gran importancia por ser un atributo de la calidad de la carne que influye en la aceptación del consumidor, ya que a

menudo la carne se rechaza si varía del color normal (Froning, 1995), tanto procesadores como consumidores, determinando así el valor económico del producto (Barbut, 1997).

7. CONCLUSIONES

Las características fisicoquímicas y calidad de carne de pollo se afectan negativamente por el estrés calórico y el tiempo de espera prolongado (8 h) a la matanza. El estrés calórico induce el desarrollo de la 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 sin estrés calórico no afecta negativamente la calidad de la carne, produciendo una carne con características similares a lo que se denomina carne normal.

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, el estrés por calor antes de la matanza tiene implicaciones importantes en la industria cárnica de origen avícola, dado que se dan pérdidas económicas, al obtener carnes con características fisicoquímicas negativas.

8. LITERATURA CITADA

- Acevedo, S. M. 2004. Evaluación de los atributos principales de la calidad de la carne de res de origen local e importado según se ofrece al consumidor. Tesis de maestría. Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico. 81 p.
- Alvarado, C. Z, and A. R. Sams. 2003. Injection marination strategies for remediation of pale, exudative broiler breast meat. *Poult. Sci.* 82: 1332–1336.
- Allen, C. D., D. L. Fletcher, J. K. Northcutt, and S. M. Russell. 1998. The relationship of broiler breast color to meat quality and shelf-life. *Poult. Sci.* 77: 361–366.
- Allen, C. D., S. M. Russell, and D. L. Fletcher. 1997. The relationship of broiler breast color and pH to shelf-life and odor development. *Poult. Sci.* 76:1042–1046.
- Andujar, G., D. Pérez y O. Venegas. 2009. Los cambios postmortem y la transformación del músculo en carne. En: *Química y bioquímica de la carne y productos cárnicos*. Instituto de Investigaciones para la industria alimentaria. Editorial Universitaria. La Habana, Cuba. 125 p.
- Barbut, S. 1997. Problem of pale soft exudative meat in broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 38 4: 355-358.
- Barbut, S. 1998. Estimating the magnitude of the PSE problem in poultry. *J. Muscle Foods* 9: 35-49.
- Barbut, S., L. Zhang, and M. Marcone. 2005. Effects of pale, normal, and dark chicken breast meat on microstructure, extractable proteins, and cooking of marinated fillets. *Poult. Sci.* 84:797–802.
- Bodwell, C. E., A. M. Pearson, and M. E. Spooner. 1965. Post mortem changes in muscle. I. Chemical changes in beef. *J. Food Sci.* 30: 766-780.
- Boleman, S. J., R. K. Miller, M. J. Buyck, H. R. Cross and J. W. Savell. 1996. Influence of realimentation of mature cows on maturity, color, collagen solubility and sensory Characteristics. *J. Anim. Sci.* 74: 2187-2194.

- Boulianne, M., and A. J. King. 1998. Meat color and biochemical characteristics of unacceptable dark-colored broiler chicken carcasses. *J. Food Sci.* 63: 759-762.
- Carballo, B. y López de Torre, G. 1991. Manual de bioquímica y tecnología de la carne. 1^{ra} Ed. Madrid. España. 171 p.
- Cavitt, L. C., J. F. Meullenet, R. K. Gandhapuneni, G. W. Youm, and C. M. 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. *Poult. Sci.* 84: 113-118.
- CIE (Commission International de l'Eclairage) 1986. Colorimetry, 2^{da} Ed. Viena. 82 p.
- Cross, H. R., Z. L. Carpenter, and G. C. Smith. 1973. Effects of intramuscular collagen and elastin on bovine muscle tenderness. *J. Food Sci.* 38: 998-1003.
- Davis, G. W., T. R. Dutson, G. C. Smith, and Z. L. Carpenter. 1980. Fragmentation procedure for bovine longissimus muscle as an index of cooked steak tenderness. *J. Food. Sci.* 45: 880-884.
- Debut, M., C. Berri, E. Baéza, N. Sellier, C. Arnould, D. Guémené, N. Jehl, B. Boutten, Y. Jégo, C. Beaumont, and E. Le Bihan-Duval. 2003. Variation of chicken technological meat quality in relation to genotype and pre-slaughter stress conditions. *Poult. Sci.* 82: 1829-1838.
- Dransfield, E., and A. A. Sosnicki. 1999. Relationship between muscle growth and poultry meat quality. *Poult. Sci.* 78: 743-746.
- Dunn, A. A., D. J. Kilpatrick, N. F. S. Gault. 1993. Influence of ultimate pH, sarcomere-length and cooking loss on the textural variability of cooked m-pectoralis-major from free range and standard broilers. *British Poult. Sci.* 34: 663-675.
- Fernandez, X., A. Forslid, and E. Tornberg. 1994. The effect of high post-mortem temperature on the development of pale, soft and exudative pork: Interaction with ultimate pH. *Meat Sci.* 37: 133-147.
- Forrest, J. C., E. D. Aberle, H. D. Hedrich, M. D. Hudge, and R. A. Merkel. 2001. Fundamentos de la ciencia de la carne. 2^{da} Ed. Zaragoza, España. 365 p.

- Froning, G. W., A. S. Babji, and F. B. Mather. 1978. The effect of pre-slaughter temperature, stress struggle anesthetization on color and textural characteristics of turkey muscle. *Poult. Sci.* 57: 630-633.
- Froning, G. W. 1995. Color of poultry meat. *Poult. Avian Biol. Rev.* 6: 83–93.
- Garcia, M. E. 1989. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 3^{ra} edición. México, D. F. Instituto de Geografía. 146 p.
- Guerrero, L. I., A. E. Ponce, M. L. Pérez. 2002. Curso práctico de tecnología de carnes y pescado. Universidad Metropolitana Unidad Iztapalapa. D. F., México. 171 p.
- Hahn, G., M. Malenica, W. D. Müller, E. Taubert, and T. Petrak. 2001. Influence of post-mortem glycolysis on meat quality and technological properties of turkey breast. *In: Proceedings of XV European Symposium on the Quality of Poultry Meat, Kusadasi-Turkey.* WPSA Turkish Branch, Ismir, Turkey. Pages 325-328.
- Honikel, K. O. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci.* 49: 447-457.
- Howlinder, M. A. R., and S. P. Rose, 1989. Rearing temperatura and meat yield of broilers. *Br. Poult. Sci.* 34:925–938.
- Howlinder, M. A. R., and S. P. Rose.1989. Rearing temperature and meat yield of broilers. *Br. Poult. Sci.* 34: 925–938.
- Hui, Y. H., I. Guerrero y M. Rosmini. 2006. *Ciencia y Tecnología de Carnes.* 1^{ra} Ed. México, D. F. 634 p.
- Hulot, F. and J. Ouhayoun. 1999. Muscular pH and related traits in rabbits: a review. *World Rabbit Sci.* 7: 15-36.
- Juárez, E. 2009. Estirpes comerciales de pollo productor de carne. *Zootecnia avícola.* Universidad Nacional Autónoma de México. 1^{ra} Ed. México, D. F. 120 p.

Kannan, G., C. B. Chawan, B. Kouakou and S. Gelaye. 2002. Influence of packaging method and storage time on shear value and mechanical strength of intramuscular connective tissue of chevon. *J. Anim. Sci.* 80: 2383-2389.

Kettlewell, P. J., M. A. Mitchell, and A. Meehan. 1993. The distribution of thermal loads within poultry transport vehicles. *Agric. Eng.* 48: 26–30.

King, D. A., M. E. Dikeman, T. L. Wheeler, C. L. Kastnier, and M. Koohmaraie. 2003. Chilling and cooking rate effects on some myofibrillar determinants of tenderness of beef. *J. Anim. Sci.* 81: 1473-1481.

Kinsman, D. M., A. W. Kotula, B. C. Breidenstein. 1994. *Muscle Foods. Meat Poultry and Seafood Technology.* 1^{ra} Ed. New York. 573 p.

Kuber, P. S., J. R. Busboom, E. Huff-Lonergan, S. K. Duckett, P. S. Mir, Z. Mir. R. J. McCormick, M. V. Dodson, C. T. Gaskins, J. D. Cronrath, D. J. Marks, and J. J. Reeves. 2004. Effects of biological type and dietary fat treatment on factors associated with tenderness: i. measurements on beef longissimus muscle. *J. Anim. Sci.* 82: 770-778.

Lawrence, T. E., J. D. Whatley, T. H. Montgomery, L. J. Perino y M. E. Dikeman. 2001. Influence of dental carcass maturity classification on carcass traits and tenderness of longissimus steaks from commercially fed cattle. *J. Anim. Sci.* 79: 2092-2096.

Lawrie, R. A. 1998. *Ciencia de la carne.* 4^a Ed. Zaragoza, España. 425 p.

Leheska, J. M., D. M. Wulf, and R. J. Maddock. 2003. Effects of fasting and transport on pork quality development and extent of postmortem metabolism. *J. Anim. Sci.* 81: 3194–3202.

Lehninger, A.L., D.L Nelson, and M. M. Cox. 2001. *Principles of Biochemistry.* 4^aEd. New York. 830 p.

Lesiak, M. T., D. G. Olson, C. A. Lesiak, and D. U. 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.

López, R. V., y A. V. Casp. 2004. *Tecnología de los mataderos.* 1^{ra} Ed. México, D. F. 430 p.

- Lyon, B. G., and C. E. Lyon. 1996. Texture evaluations of cooked, diced broiler breast samples by sensory and mechanical methods. *Poult. Sci.* 75: 812-819.
- Mancini, R. A. and M. C. Hunt. 2005. Current research in meat color. *Meat Sci.* 71: 100-121.
- McFarlane, J. M., S.E. Curtis, J. Simon, and O. A. Izquierdo. 1989. Effects on hematologic, body composition, and pathologic traits. *Poult. Sci.* 68: 510-21.
- McKee, S. R., and A. R. Sams. 1997. The effect of seasonal heat stress on rigor development and the incidence of pale, exudative turkey meat. *Poult. Sci.* 76: 1616-1620.
- McKee, S. R., and A. R. Sams. 1998. Rigor mortis development at elevated temperatures induces pale exudative turkey meat characteristics. *Poult. Sci.* 77: 169-174.
- Minton, J. E. 1994. Function of the hipotalamic Pituitary-Adrenal axis and the sympathetic nervous system in models of acute stress in domestic farm animals. *J. Anim. Sci.* 72: 1891-1898.
- Mohamed, H. M. H., and H. A. Mansour. 2012. Incorporating essential oils of marjoram and rosemary in the formulation of beef patties manufactured with mechanically deboned poultry meat to improve the lipid stability and sensory attributes. *Lwt-Food Science and Technology* 45: 79-87.
- Murai, S., T. Arataa, and A. Inoue. 1995. Binding of myosin and its subfragment-1 with antibodies specific to the two heads of the myosin molecule. *J. Biochemical.* 117: 974-979.
- Murray, A. C. 1989. Factors affecting beef color at time of grading. *J. Anim. Sci.* 69: 347-355.
- Northcutt, J. K., E. A. Foegeding, and F. W. Edens. 1994. Water-holding properties of thermally preconditioned chicken breast and leg meat. *Poultry Sci.* 73: 308-316.
- Offer, G., and P. Knight, 1988. The structural basis of water holding in meat. Part 2. Drip losses. *In: Developments in Meat Science—4.* Elsevier Applied Science Publishing Co., Inc., New York, NY. Pages 173-243.

- Offer, G., P. Knight, R. Jeacocke, R. Almond, T. Cousins, J. Elsey. 1989. The structural basis of the water-holding, appearance and toughness of meat and meat-products. *Food Microstructure* 8: 151–170.
- Owens, C. M, and A. R. Sams. 2000. The Influence of Transportation on Turkey Meat Quality. *Poult. Sci.* 79: 1204–1207.
- Palombo, R., and G. Wijngaards. 1990. Characterization of changes in psychometric color attributes of comminuted porcine lean meat during processing. *Meat Sci.* 28: 61-76.
- Pérez-Álvarez, J.A. 1996. Contribución al estudio objetivo del color en productos cárnicos crudo-curados. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia. 276 p.
- Qiao, M., D. L. Fletcher, D. P. Smith, and J. K. Northcutt. 2001. The effect of broiler breast meat color on pH, water-holding capacity, and emulsification capacity. *Poultry Sci.* 80: 676–680.
- Qiao, M., D. L. Fletcher, J. K. Northcutt, and D. P. Smith. 2002. The relationship between raw broiler breast meat color and composition. *Poult. Sci.* 81: 422–427.
- Rammouz, R., R. Babile, and X. Fernandez. 2004. Effect of ultimate pH on the physicochemical and biochemical characteristics of turkey breast muscle showing normal rate of postmortem pH fall. *Poult. Sci.* 83: 1750–1757.
- Sams, A. R. 1990. Electrical stimulation and high temperature conditioning of broiler carcasses. *Poult. Sci.* 69: 1781–1786.
- Sandercock, D. A., R. R. Hunter, G. R. Nute, M. A. Mitchell, and P. M. 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. *Poult. Sci.* 80: 418–425.
- Santos C., L. C. Roserio, H. Goncalves, and R. S. Melo. 1994. Incidence of different pork quality categories in a Portuguese slaughterhouse: A survey. *Meat Sci.* 38: 279–287.
- Savell, J. W., H. R. Cross, J. J. Francis, J. W. Wise, D. S. Hale, D. L. Wilkes, and G. S. Smith. 1989. National consumer retail beef study: Interaction of beef trim level price and grade on consumer acceptance of beef steaks and roasts. *J. Food Qual.* 10: 269.

- Sayre, R. N., E. J. Briskey, and W. G. Hoekstra, 1963. Alteration of postmortem changes in porcine muscle by pre-slaughter heat treatment and diet modification. *J. Food Sci.* 28: 292–297.
- Schneider, B. L., R. A. Renema, M. Betti, V. L. Carney, and M. J. Zuidhof. 2012. Effect of holding temperature, shackling, sex, and age on broiler breast meat quality. *Poult. Sci.* 91: 468–477.
- Smith, M. O., and R. G. Teeter, 1987. Influence of feed intake and ambient temperature stress on the relative yield of broiler parts. *Nutr. Rep. Int.* 35: 299–306.
- Smith, D. P, and L. L. Young. 2007. Marination pressure and phosphate effects on broiler breast fillet yield, tenderness, and color. *Poult. Sci.* 86: 2666–2670.
- Smulders, F. J. M., M.M. Marsh, D.R. Swartz, R.L. Russell, and E. Hoenecke, 1990. Beef tenderness and sarcomere length. *Meat Sci.* 28: 349–358.
- Stern, N. J., M. R. S. Clavero, J. S. Bailey, N. A. Cox, and M. C. Robach. 1995. *Campylobacter* spp. in broilers on the farm and after transport. *Poult. Sci.* 74: 937–941.
- Swatland, H. J. 1993. *Pork Quality: Genetic and Metabolic Factors*. E. Poulanne and D. I. Demeyer, ed., C.A.B. International, Wallingford, UK. 286 p.
- Unión Nacional de Avicultores (UNA). 2011. Indicadores económicos. Consultado el día 12 de octubre de 2012. [en línea <http://www.una.org.mx/index.php?option=com>]
- Van Hoof, J., 1979. Influence of ante- and perimortem factors on biochemical and physical characteristics of turkey breast muscle. *Vet. Q.* 1:29–36.
- Van Laack, R. L. J. M., and J. L. Lane. 2000. Denaturation of myofibrillar proteins from chicken as affected by pH, temperature, and adenosine triphosphate concentration. *Poult. Sci.* 79:105–109.
- Vigoreaux, J. O. 1994. The muscle Z band: lesson on stress management, *J. Muscle Research and cell motility* 15: 237–255.

- Wang, Y., X. Zhan, X. Zhang, R. Wu, and D. Yuan. 2011. Comparison of different forms of dietary selenium supplementation on growth performance, meat quality, selenium deposition, and antioxidant property in broilers. *Biological Trace Element Research*, 143: 261-273.
- Wariss, P. D., S. C. Kestin, S. N. Brown, T. G. Knowles, L. J. Wilkins, J. E. Edwards, S. D. Austin, and C. J. Nicol, 1993. The depletion of glycogen stores and indices of dehydration in transported broilers. *Br. Vet. J.* 149: 391–398.
- Warner, R. D., R.G. Kauffman, and R.L. Russell. 1993. Quality attributes of mayor porcine muscle: a comparison with the longissimuss lumbarum. *Meat Sci.* 33: 359.
- Warris, P. D., and S. N. Brown, 1987. The relationship between initial pH, reflectance and exudation in pig muscle. *Meat Sci.* 20: 65–72.
- Wismer-Pedersen, J. 1994. *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. 3^{ra} Ed. Zaragoza. España. 581 p.
- Woelfel, R. L., C. M. Owens, E. M. Hirschler, R. Martinez-Dawson, and A. R. Sams. 2002. The characterization and incidence of pale, soft, and exudative broiler meat in a commercial processing plant. *Poult. Sci.* 81: 579–584.
- Wynveen, E. J., B. C. Bowker, A. L. Grant, B. P. Demos, and D. E. Gerrard. 1999. Effects of muscle pH and chilling on development of PSE-like turkey breast meat. *Br. Poult. Sci.* 40: 253–256.
- Young, J. F., A. H. Karlsson, and P. Henckel. 2004. Water-holding capacity in chicken breast muscle is enhanced by pyruvate and reduced by creatine supplements. *Poult. Sci.* 83: 400–405.
- Yue, H. Y. , L. Zhang , S. G. Wu , L. Xu , H. j. Zhang , and G. H. Qi. 2010. Effects of transport stress on blood metabolism, glycolytic potential, and meat quality in meat-type yellow-feathered chickens. *Poult. Sci.* 89: 413–419.
- Zhang, L., H. Y. Yue, H. J. Zhang, L. Xu, S. G. Wu, H. J. Yan, Y. S. Gong, y G. H. Qi. 2009. Transport stress in broilers: I. Blood metabolism, glycolytic potential, and meat quality. *Poult. Sci.* 88: 2033–2041.

Zhuang, H and E. M. Savage. 2012. Effects of fillet weight on sensory descriptive flavor and texture profiles of broiler breast meat. *Poult. Sci.* 91: 1695–1702.