



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

CAMPUS CÓRDOBA
INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

**EFECTO DEL POTENCIAL GLUCOLÍTICO EN
CONDICIONES DE ESTRÉS *ANTE-MORTEM*
EN CARNE DE POLLO**

**MARITZA ERNESTINA VENEROZO
CORTÉS**

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRA EN CIENCIAS

CÓRDOBA, VERACRUZ, MÉXICO

JUNIO, 2015

**EFFECTO DEL POTENCIAL GLUCOLÍTICO EN CONDICIONES DE ESTRÉS ANTE-
MORTEM EN CARNE DE POLLO**

La presente tesis: **“Efecto del potencial glucolítico en condiciones de estrés *ante-mortem* en carne de pollo”**, realizada por **Maritza Ernestina Venerozo Cortés**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

DRA. ALEIDA SELENE HERNÁNDEZ CÁZARES

ASESOR:

DR. CARLOS NARCISO GAYTÁN

ASESOR:

DR. ARTURO PRO MARTÍNEZ

ASESOR:

M. C. NATALIA REAL LUNA

Amatlán de los Reyes, Veracruz, Junio de 2015

RESUMEN

EFFECTO DEL POTENCIAL GLUCOLÍTICO EN CONDICIONES DE ESTRÉS ANTE-MORTEM EN CARNE DE POLLO

Maritza Ernestina Venerozo Cortés, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2015.

El objetivo del presente trabajo fue investigar los efectos del estrés *ante-mortem*, estrés calórico (EC) y tiempo de espera a la matanza (TEM) sobre variables de rendimiento en peso vivo (PV) y de canal en pollo de engorda (RCC); calidad de la carne, pH y color; y propiedades funcionales, proteína, capacidad de retención de agua (CRA), rendimiento en cocción (RC) y textura, expresada como fuerza de corte. Además, se evaluó el potencial glucolítico (PG) en músculo y en plasma sanguíneo a fin de determinar la relación de los sustratos contenidos en ellos que pueden convertirse en ácido láctico. Se utilizaron pollos de la línea Ross 308 de seis semanas de edad, mismos que se asignaron aleatoriamente a diferentes temperaturas ambientales (30, 35 y 40 °C) antes de la matanza para evaluar el EC y a 2, 4 y 8 h para TEM. Los pollos expuestos a 40°C, al igual que aquellos sometidos a 2 y 4 h de espera a la matanza a 35°C, presentaron características similares a una carne con condición oscura, firme y seca (OFS: pH > 6.0, L* < 46, alta CRA). El EC y TEM causaron una disminución en el rendimiento en peso vivo y de la canal, y glucógeno muscular, expresado con los bajos valores de potencial glucolítico encontrados; mientras que los niveles de glucosa y lactato en plasma sanguíneo fueron altos y bajos respectivamente. Además que el contenido de proteína y rendimiento de cocción se mantuvieron constantes. Por lo tanto, los resultados encontrados indican que EC y TEM afectan la calidad de la carne de pollo para consumo en fresco.

PALABRAS CLAVE: Potencial glucolítico, calidad de la carne de pollo, estrés calórico, tiempo de espera a la matanza.

ABSTRACT

GLYCOLYTIC POTENTIAL EFFECT UNDER *ANTE-MORTEM* STRESS IN CHICKEN MEAT

Maritza Ernestina Venerozo Cortés, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2015.

The effects of *ante-mortem* stress, heat stress (HS) and slaughter timeout (ST), in chicken breast meat was studied. The response variables were live weight (LW) and carcass broiler yield, pH, color and functional properties such as protein, water-holding capacity (WHC), cooking yield (CY) and shear force. In addition, the glycolytic potential (GP) in muscle and blood plasma to determine the relationship of the substrates contained therein, which can be converted into lactic acid was evaluated. Six weeks old broiler chicken from Ross 308 line, assigned to different ambient temperatures (30, 35 and 40 °C) before slaughter to evaluate the HS and 2, 4 and 8 h for ST, were used. Chickens exposed to 40 °C, as well as those under 2 and 4 h timeout the slaughter at 35 °C were comparable with dark, firm and dry meat (DFD; pH > 6.0, L * < 46, WHC high). The HS and LW caused a drop in the live weight yield, carcass yield and muscle glycogen, which was represented by the low levels of glycolytic potential; while the glucose level in blood plasma were high, the lactate level was low. Furthermore, the protein content and cooking yield were maintained constant. Hence, the results indicate that HS and ST affect the chicken meat quality for fresh consumption.

KEY WORDS: Glycolytic potential, chicken meat quality, heat stress, slaughter timeout.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por siempre acompañarme y guiarme, a mi familia mi mami y mi papi que gracias a ustedes y sus enseñanzas soy lo que soy, a mis hermanas Ruth, Nancy y Gabriela por su apoyo y amor. A mis hermanas elegidas desde hace más de 10 años Isabel y Lupita por siempre creer en mí.

A CONACyT por el apoyo recibido para la realización de la maestría.

Se agradece a la Línea Prioritaria de Investigación de Agregación de Valor (LP1-12) del Colegio de Postgraduados por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo.

A la Dra. Aleida S. Hernández Cázares por permitirme realizar este trabajo de investigación de Maestría en Ciencias bajo su dirección y las facilidades brindadas, agradezco el confiar en mí y por su dedicación para mi formación como investigadora.

Agradezco a la M. C. Natalia Real Luna por su paciencia, apoyo y enseñanzas en el trabajo realizado en el laboratorio, también el confiar en mí y por su dedicación para mi formación como investigadora.

A los doctores Carlos Narciso Gaytán y Arturo Pro Martínez por las valiosas aportaciones que hicieron mejorar la presente investigación.

A todos los Doctores del Programa de Innovación Agroalimentaria Sustentable del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba por su experiencia transmitida para mi formación académica.

Gracias por su disposición al M.V.Z. Amalio Alonso Bustamante y el técnico Hipólito Hernández Cuahua del Laboratorio Cordobés por los consejos y enseñanzas para el cuidado

de las aves y para la extracción de sangre de las mismas. Así como la participación de esta última actividad los días de los muestreos.

A las niñas y amigas de la Universidad Tecnológica de Tehuacán: Noemí, Ivonne, Diana, Nataly y Kony por su disponibilidad de aprender y colaborar en todo momento. A Horacio, Mayra, Margarita, Salvador, a la Química Laura, Noema y Lucia por su ayuda en los días de los muestreos.

A mis hermanos de la maestría Joaquín, Luz y Daniela que sin importar días festivos, horarios y ocupaciones se comprometieron al cien conmigo, jamás tendré como recompensar. Gracias de verdad me han hecho afortunada de contar con su amistad, hermandad y compañerismo.

A ti hermanita Mariel, por acompañarnos en los momentos difíciles, echarnos porras una a la otra y seguir, por empezar cada día con la misma energía desde el inicio. A Blanca por la amistad, por la paciencia y por su ayuda incondicional en días asuetos, festivos y vacaciones y los días completos en laboratorio.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVO GENERAL	3
2.1. Objetivos Particulares.....	3
III. HIPÓTESIS GENERAL	3
IV. MARCO TEÓRICO	4
4.1 Carne.....	4
4.2 Cambios bioquímicos <i>pre y post-mortem</i> de la carne.....	6
4.3. Aspectos importantes que definen la calidad de la carne	10
4.4 Factores que afectan la calidad de la carne	13
4.7 Potencial glucolítico.....	18
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
5.1 Localización del área de estudio.....	20
5.2 Animales y diseño experimental	20
5.3 Variables de rendimiento	21
5.4. Calidad de la carne	21
5.5 Propiedades funcionales de la carne.....	22
5.6 Potencial Glucolítico.....	23
5.7 Análisis estadístico.....	24
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
6.1 Variables de rendimiento	26
6.2. Calidad de carne	28
6.3 Propiedades funcionales de la carne.....	32
6.4. Potencial Glucolítico (PG)	35

VIII. CONCLUSIONES	38
IX. LITERATURA CITADA	39

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición proximal de la carne de pollo.....	5
Cuadro 2. Efecto del estrés calórico (EC) y tiempo de espera a la matanza (TEM) sobre el pH y color del músculo <i>Pectoralis major</i> de pollo.....	31
Cuadro 3. Efecto del estrés calórico (EC) y tiempo de espera a la matanza (TEM) sobre las propiedades funcionales de la carne de pollo.....	34
Cuadro 4. Efecto del estrés calórico (EC) y tiempo de espera a la matanza (TEM) sobre el potencial glucolítico en músculo <i>Pectoralis major</i> a las 24 h <i>post-mortem</i>	37
Cuadro 5. Efecto del estrés calórico (EC) y tiempo de espera a la matanza (TEM) sobre metabolitos en sangre.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de los principales cambios <i>post-mortem</i>	6
Figura 2. Esquema general de las posibles fuentes de ATP en tejido muscular	7
Figura 3. Proceso de glucólisis en condiciones aerobias y anaerobias	8
Figura 4. Ciclo de Cori	10
Figura 5. Integración neurobiológica del estrés	15
Figura 6. Rendimiento de peso vivo	27
Figura 7. Rendimiento en canal	28

I. INTRODUCCIÓN

La industria avícola en el intento de mantener su competitividad en un mercado cada vez más globalizado y exigente, así como el incremento de la población y la necesidad de producir alimentos en el menor tiempo posible, ha modificado el medio ambiente de las aves; entre ellas, incrementando los ciclos productivos, seleccionando estirpes de crecimiento rápido y mayor proporción de pechuga, etc. Incluso mucho de esta situación se debe a la alta demanda y consumo de carne de pollo, muy por encima de la carne de cerdo y res, debido en parte al precio accesible y disponibilidad del producto. No obstante, aun cuando la industria se esfuerza en proporcionar el bienestar a los animales, esto no siempre sucede y en ocasiones son expuestos a diversos niveles de estrés (Castañeda y Rubio, 2010 y Gallo, 2010). En este sentido, durante el año 2014, según la Unión Nacional de Avicultores (2015), la producción de carne de pollo en México rebasó las 3 millones de toneladas y generó un consumo per cápita de 25.6 Kg, siendo los principales estados con mayor producción de carne Querétaro (11 %), Veracruz (10 %) y la región de la Comarca Lagunera (10 %).

El efecto del estrés adquiere importancia debido a que causa cambios fisicoquímicos *post-mortem*, induciendo el desarrollo de la condición pálida, suave y exudativa (PSE); condición que origina 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).

En este contexto, los factores de estrés *ante y post-mortem* determinan las calidad final de la carne. Por lo que es importante evaluar el efecto de estos factores, en particular los característicos de la zona de estudio, a fin de establecer procedimientos de matanza y evitar las afectaciones en la calidad de la carne. Así, el estrés calórico y el tiempo de espera a la matanza se eligieron como factores de manejo *ante-mortem*, al ser los más comúnmente encontrados en la región de estudio. Para ello, se evaluaron las variables

de rendimiento en peso vivo (PV) y de canal (RCC); en la calidad de la carne, pH y color; y en las propiedades funcionales, proteína, capacidad de retención de agua (CRA), rendimiento en cocción (RC) y textura, expresada como fuerza de corte. Además, se evaluó el potencial glucolítico (PG) en músculo y en plasma sanguíneo a fin de determinar la relación de los sustratos contenidos en ellos que pueden convertirse en ácido láctico, en su defecto ser utilizado como marcador o indicador de la frescura de la carne.

II. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el potencial glucolítico muscular y en sangre en condiciones de estrés *ante-mortem* sobre la calidad de la carne de pollo.

2.1. Objetivos Particulares

- Determinar la calidad de la carne de pollo de engorda sometidos a estrés calórico y tiempo de espera a la matanza.
- Evaluar el potencial glucolítico muscular y sanguíneo en pollo de engorda sometido a estrés calórico y tiempo de espera a la matanza.

III. HIPÓTESIS GENERAL

El estrés *ante-mortem* generado por calor y tiempo de espera a la matanza en pollos de engorda afecta la calidad de la carne para consumo en fresco, relacionada con bajo potencial glucolítico.

IV. MARCO TEÓRICO

4.1 Carne

La carne se define como la porción comestible de animales sanos destinados para consumo humano; está constituida principalmente por tejido muscular y cantidades variables de tejido conectivo, epitelial, nervioso y adiposo; según la localización anatómica, edad, género y especie animal. La relación que hay entre estos tejidos refleja el rendimiento de la canal, así como las características de calidad y consecuentemente el costo de la carne (Hui *et al.*, 2010). En general, la composición de la carne se establece durante la vida del animal, mientras que su calidad se ve fuertemente afectada por factores *ante, pre y post-mortem* (Hernández-Cázares, 2010).

La carne se compone de 71 y 76 % de agua, entre 17 y 21 % de proteínas, de 1 a 7 % de grasa y 2.5 a 3 % de sustancias solubles no nitrogenadas (Price y Schweigert, 1995; Lawrie, 1985) dependiendo de la especie; la composición proximal de la carne de pollo se muestra en la Cuadro 1, encontrándose en los rangos generales, lo que la hace una carne de gran importancia nutrimental. La presencia del agua influye potencialmente en los cambios que ocurren en la carne durante la refrigeración, almacenamiento y procesamiento (Hamm, 1960). El contenido de agua varía inversamente con el de grasa: si aumenta el contenido de grasa, el de agua decrece, aproximándose al contenido de tejido adiposo, cercano al 10 %. La proporción entre proteína y agua es casi constante en un amplio rango de contenido de grasa (Andújar *et al.*, 2003). Los lípidos del tejido adiposo están constituidos casi en su totalidad por triglicéridos (99 %), fosfolípidos en un orden de 15 a 25 mg/Kg (Horstein *et al.*, 1961) y de materia insaponificable, principalmente colesterol. El contenido de carbohidratos del tejido muscular es generalmente muy pequeño, alrededor del 1 % del peso húmedo (Lehninger *et al.*, 2001).

Cuadro 1. Composición proximal de la carne de pollo.

Compuestos	g 100 / g de carne cruda
Agua	74.90 ± 0.30
Materia seca	25.1 ± 0.026
Proteína	19.7 ± 0.36
Lípidos totales	7.75 ± 0.12
Cenizas	0.97 ± 0.029

Fuente: Arenas *et al.*, 2000.

4.1.1. Conversión de músculo a carne

El proceso posterior a la muerte del animal se lleva a cabo la transformación gradual del músculo a carne. Este proceso se puede dividir en tres etapas: pre-rigor caracterizada por que el músculo es aún elástico (Hui *et al.*, 2010), rigor-mortis que consta a su vez de dos etapas, el acortamiento de los sarcómeros (formación de enlaces entrecruzados entre filamentos finos y gruesos) y la rigidez (tensión continua de las fibras musculares). Así, en esta fase se forma el complejo proteico actina/miosina por agotamiento del ATP (Adenosín trifosfato), se produce ácido láctico y el músculo se encuentra en estado de rigidez sostenida y es inextensible -duro- (Andújar *et al.*, 2003). Por último resolución de la rigidez cadavérica donde el tejido muscular recupera gradualmente cierta elasticidad debido a la pérdida de la integridad del tejido, mejorando la textura y formando compuestos precursores del aroma a carne (Hui *et al.*, 2010). 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 el depósito primario de carbohidratos, el glucógeno y el lactato -producto final de la glucólisis anaerobia- que se pierde 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 (Figura 1).

En las aves el *rigor-mortis* se establece muy rápido, en promedio 1-2 h, aunque puede observarse entre 10 min y 4 h y un máximo de 2 y 8 h *post-mortem*. 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* desaparece a causa de los fenómenos proteolíticos, comenzando así el proceso de maduración de la carne (Wang *et al.*, 2011).

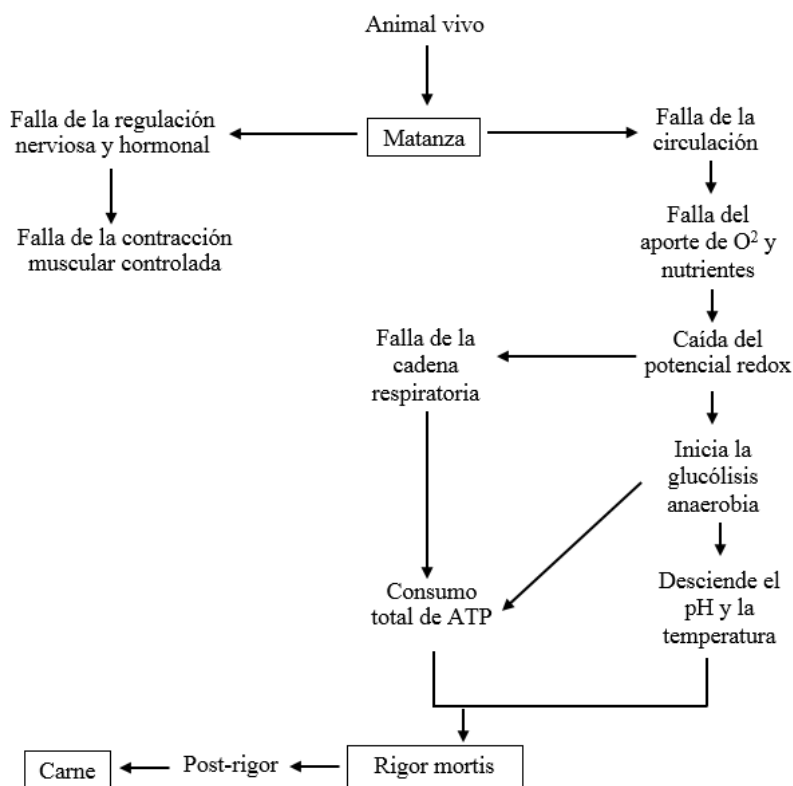


Figura 1. Diagrama de los principales cambios *post-mortem*. Adaptado de Pérez *et al.*, 2000.

4.2 Cambios bioquímicos *pre* y *post-mortem* de la carne

La glucólisis es la ruta principal en el metabolismo de la glucosa sanguínea o glucógeno muscular para obtener energía y sintetizar ATP en condiciones aerobias o anaerobias (Ponce, 2013) (Figura 2).

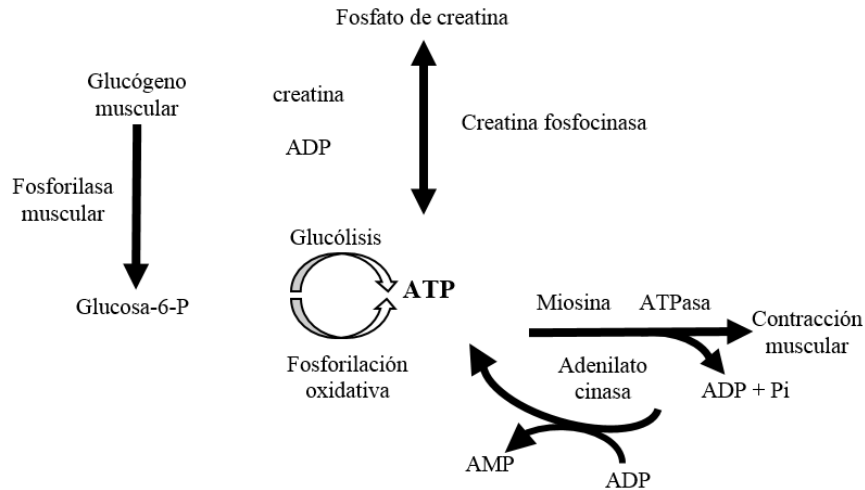
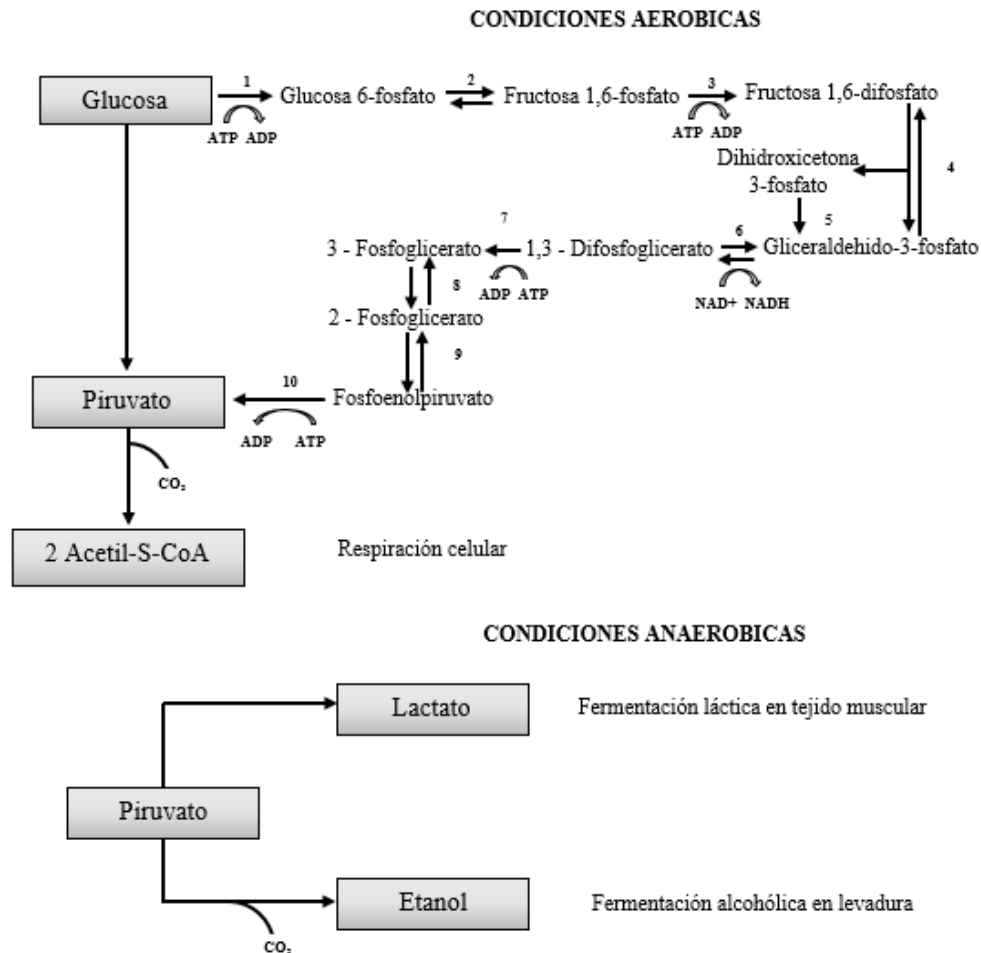


Figura 2. Esquema general de las posibles fuentes de ATP en tejido muscular
Adaptado de Murray, 1997

En condiciones aeróbicas el proceso consiste en una serie de diez reacciones enzimáticas catabólicas o degradativas en presencia de enzimas endógenas (glucohidrolasas) (Toldrá, 2008), el piruvato principal producto, es posteriormente oxidado hasta CO_2 y agua mediante reacciones acopladas, generando 36 ATP por cada molécula de glucosa (Figura 3.) La glucólisis en condiciones anaeróbicas se distinguen dos fases principales: en la primera fase la glucosa se prepara para su catabolismo mediante su fosforilación, escindiéndose después de formar el gliceraldehído-3-fosfato y un azúcar de tres átomos de carbono; en la segunda fase este compuesto se convierte en lactato. La primera fase es la preparatoria o corregida, en ella se incorporan a la secuencia glucolítica cierto número de hexosas diferentes después de haber sido fosforiladas por el ATP, se convierten en un producto común, el gliceraldehído-3-fosfato. En esta fase se consumen dos moléculas de ATP para fosforilar las posiciones 1 y 6 de la hexosa, de forma parecida a como se prepara la bomba. La segunda fase de la glucólisis es la ruta común para todos los azúcares: se producen en ella las etapas de la oxido-reducción, actuando los mecanismos de conservación de la energía mediante los cuales el ADP se fosforila a ATP. En la segunda fase se forman cuatro moléculas de ATP, de modo que el rendimiento neto después de restar los ATP empleados en la preparación de la secuencia es de dos moléculas de ATP por molécula de glucosa degradada a lactato (Lehninger *et al.*, 2001). Al momento de la muerte del animal, el mayor cambio que

experimenta el músculo tiene que ver con esa síntesis energética. El aporte de oxígeno derivado de la circulación sanguínea al tejido muscular se interrumpe, la respiración celular se paraliza y surge la síntesis anaerobia de energía con un rendimiento mucho menor en la generación de ATP como ya es mencionado anteriormente (dos moléculas), provocando la reducción piruvato a ácido láctico, con la consecuente disminución de pH en el músculo y la aparición de las diversas calidades de carne (Toldrá, 2008).



1. Hexoquinasa o glucoquinasa, 2. Fosfoglucoisomerasa, 3. Fosfofructoquinasa, 4. Fructosa- 1,6-bis-fosfato aldosa, 5. Triosa-fosfato isomerasa, 6. Gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa, 7. Fosfoglicerato quinasa, 8. Fosfoglicerato mutasa, 9. Elonasa, 10. Piruvato quinasa, 11. Lactato deshidrogenasa

Figura 3. Proceso de glucólisis en condiciones aerobias y anaerobias
Hernández-Cázares, 2010

El lactato es el metabolito originado en la glucogenólisis muscular debido a la falta de la enzima glucosa-6-fosfatasa, necesaria para la síntesis de glucosa a partir de glucógeno. El lactato en el músculo, es transportado por la sangre hasta el hígado, donde es transformado en glucosa (Figura 4). Otra fuente de ácido láctico es la glucólisis anaerobia; en ausencia de oxígeno, el piruvato es reducido a lactato por la acción de la lactato deshidrogenasa (Kaneko, 1997); es decir del metabolismo anaeróbico resulta en la formación de lactato y simultáneo decline en el pH. Ambos en grado (Bendall, 1973; Hamm, 1960) y frecuencia (Offer, 1991; Offer y Cousins, 1992) conocidos por influir en atributos de la calidad de la carne, por lo que el control del glucógeno y niveles de fosfato de creatina al momento de la matanza, pueden permitir el control de los parámetros de calidad tecnológica como la capacidad de retención de agua y las características sensoriales incluyendo el color y la jugosidad (Andersen *et al.*, 2005).

Mientras que el polisacárido de reserva energética animal más importante, glucógeno, se encuentra principalmente en el músculo y en el hígado. A nivel metabolismo se emplea como fuente de glucosa; que después de un vigoroso ejercicio, el lactato producido por la glucólisis anaerobia en el músculo esquelético regresa al hígado y es convertido nuevamente en glucosa, la cual regresa al músculo a través de la circulación sanguínea y es convertido a glucógeno (Nelson y Cox, 2001), bajo el ciclo denominado de Cori (Figura 4). En el animal muerto la concentración de glucógeno varía mucho dependiendo de la matanza, tipo de músculo, la especie y el estado nutricional de los animales, pero sobre todo del nivel de estrés *ante-mortem* (Immonen *et al.*, 2000). El glucógeno residual puede contribuir a la vida útil de la carne, en cierta medida, ya que durante los primeros días *post-mortem* la concentración de glucosa libre se eleva sobre la superficie de la carne, debido a la hidrólisis y la difusión de glucógeno residual y otros sustratos fermentables desde las capas más profundas de la carne (Kress-Rogers *et al.*, 1993).

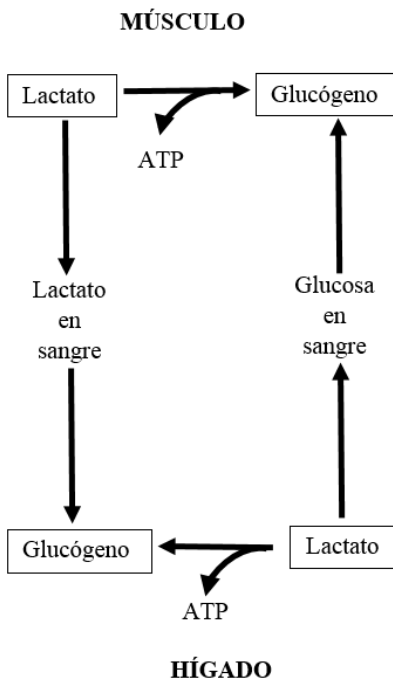


Figura 4. Ciclo de Cori
Nelson y Cox, 2001.

Por otro lado, el ATP, fuente principal de energía para el proceso de contracción y relajación en el músculo vivo, tras el sacrificio, el mecanismo aerobio de obtención de ATP cesa, por lo que es necesario obtenerla a partir del metabolismo celular vía glucólisis anaerobia, fosforilación oxidativa a partir de la degradación irreversible de la fosfato de creatina (CP) o de la condensación de dos moléculas de ADP (adenosín difosfato) (Toldrá, 2006). El agotamiento del ATP es la principal causa del inicio del *rigor mortis* (Greaser, 1986) y éste ha sido la base del desarrollo de distintos métodos para la detección *post-mortem* de carnes en condición pálida suave y exudativa (PSE) y oscura, firme y seca (OFS).

4.3. Aspectos importantes que definen la calidad de la carne

La importancia de los diferentes aspectos cualitativos de la calidad de la carne difiere en función del segmento de la cadena cárnica que se analice; ya sea en producción, industrialización o comercialización. El consumidor asocia como atributos de calidad de la carne fresca, el color (intensidad y coloración), la ternesa, la jugosidad, la apariencia (grasa

intramuscular, marmorización, exudación), el sabor y el aroma. Mientras que la industria asocia la calidad con atributos como pH, la capacidad de retención de agua (CRA), textura, estabilidad oxidativa y ausencia de sabores anómalos. Estos atributos están influenciados por factores como la raza, la edad, la dieta, el manejo *ante-mortem*, los procesos de matanza y las prácticas de manejo *post-mortem*, las características intrínsecas del músculo y tejido conectivo, intensidad de proteólisis *post-mortem* en las células musculares y temperatura de cocción de la carne, entre otros. En general, para definir la calidad total de la carne y sus productos cárnicos se deben considerar las cualidades que constituyen el valor sensorial (calidad sensorial) y nutritivo (calidad nutritiva) que junto con una serie de propiedades funcionales necesarias en el procesado y la fabricación de los productos cárnicos se incluye la calidad tecnológica y la calidad higiénico-sanitaria (Hernández-Cázares, 2010).

En este sentido, algunos atributos de calidad importantes para la industria cárnica son:

pH. El glucógeno en el músculo es el principal sustrato metabólico responsable de la acumulación *post-mortem* de ácido láctico y como consecuencia un decline normal de pH (Immonen *et al.*, 2000). En el caso de la carne de pollo, el pH del músculo vivo está próximo a la neutralidad, cuando se finaliza el proceso de transformación de músculo a carne, el pH idóneo de la carne debe estar entre 5.8 y 6.0 (Owens y Sams, 2000). Incluso, el pH se ha relacionado como un indicador de calidad en conjunto con algunas otras características como el color (Fletcher, 1999) y la capacidad de retención de agua (Berg y Allee, 2001).

Color. El color de la carne es una de las características sensoriales más importantes de aceptabilidad del producto (Girolami *et al.*, 2011). El consumidor a menudo tiende a asociar el color con el sabor, la ternura, la seguridad y el valor nutricional (Hatcher, 2004). Las proteínas además de la importancia nutricional generan propiedades ópticas como el color, tal es el caso de las cromoproteínas que contienen mayoritariamente un grupo porfirínico conjugado con un metal de transición, principalmente el hierro (metalo-porfirina), que forma grupos hemo (Badui, 1981). Las hemoproteínas presentes en el músculo *post-*

mortem, la mioglobina (Mb) es la principal proteína responsable del color de la carne, en promedio la Mb representa el 1.5 % en peso de las proteínas del músculo esquelético (Kanner, 1994); otras como la hemoglobina están presente en 0.5 % al igual que los citocromos y las flavoproteínas, que también juegan un rol en el color de la carne de bovino, cerdo y aves (Mancini y Hunt, 2005). La ultraestructura muscular de la carne es fundamental en el color de la carne y los productos cárnicos, el descenso de pH generado por la transformación del glucógeno en ácido láctico modifica las propiedades ópticas de la carne transformándola en un sólido opaco y claro (Swatland, 1995). El color en los alimentos se determina en términos de coordenadas de color (CIE L*, a*, b*), valores de ángulo de tono y croma. Donde L* es el componente de luminosidad, el cual tiene un rango de 0 a 100 (de negro a blanco) y los parámetros a* (de verde si es negativo a rojo si es positivo) y b* (de azul si es negativo a amarillo si es positivo) (Papadakis, 2004).

Mientras que algunas propiedades funcionales de importancia para la industria de la carne son:

Contenido de proteína. El contenido de proteína es una de las características en cuanto a calidad nutritiva más importante de la carne; así como, su función como propiedad funcional (Forrest *et al.*, 1979). El músculo estriado contiene tres tipos de proteínas: las miofibrilares (actina, miosina), las sarcoplasmáticas (mioglobina, enzimas hidrosolubles) y las del tejido conectivo (colágeno, elastina) (Lawrie, 1985), las cuales adquieren importancia desde el punto de vista tecnológico en la elaboración de productos cárnicos, ya que ellas permiten establecer enlaces dipolo-dipolo con moléculas de agua, de ahí su relación con la capacidad de retención de agua (Chinachoti, 2000).

Capacidad de retención de agua (CRA). Es una propiedad fundamental en la carne fresca y desde el punto de vista tecnológico en los productos cárnicos, y se relaciona directamente con la jugosidad y la ternura. La determinación de la CRA, mide el agua libre y parte del agua absorbida, y se define como capacidad de la carne a retener toda o parte de su propia agua o agua añadida durante la aplicación de fuerzas externas. Hulot y Ouhayoun, (1999) afirman

que la CRA se encuentra estrechamente relacionada con el color y textura de la carne cocida. La CRA determina dos importantes variables económicas: el rendimiento y la calidad de los productos obtenidos (Bautista, 2013). 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 (Forrest *et al.*, 2001; Bautista, 2013). De tal forma que el estudio de esta propiedad es importante al momento de caracterizar la calidad de la carne (Offer *et al.*, 1989).

Textura. La textura de los alimentos está relacionada al comportamiento mecánico; así como a las propiedades sensoriales (Dransfield, 1994). 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 carne tiene la organización estructural más compleja de todos los alimentos, varía química y estructuralmente entre músculos del mismo animal, entre animales de la misma raza y especie, y entre especies. Además de las condiciones de la matanza y el tiempo de espera a la matanza (Kauffman, 2002). La textura es una de las características más importantes en la aceptabilidad de los consumidores de pechuga de pollo (Schilling *et al.*, 2003). Para ello, la industria avícola, instrumentalmente ha determinado la textura por la dureza de corte (fuerza de corte) por medio de las navajas Warner-Bratzler (WB) o Allo-Kramer (AK), simulando los kilogramos de fuerza requeridos para cortar un centímetro cuadrado del músculo.

4.4 Factores que afectan la calidad de la carne

El desarrollo de la calidad de la carne, como ya se ha mencionado, está directamente relacionada con los factores de manejo *ante, pre y post-mortem*. Los aspectos físicos de bienestar y otros factores del ambiente que afectan al animal esta relacionados directamente con el **estrés** (Appleby *et al.*, 2004). Incluso, se ha reconocido como la suma de reacciones biológicas frente a cualquier estímulo que tiende a alterar la homeostasis o relación huésped-agente-medio ambiente que implica un sobre esfuerzo del organismo que

sobrepase su nivel de resistencia (Mitchell y Kettwell, 1998). Las condiciones medioambientales y de manejo rutinario que desencadenan estrés están relacionados con el grado de actividad secretoria 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). Si es prolongado el efecto estresante, el hipotálamo activará la pituitaria para liberar corticotropina, que actúa sobre la corteza adrenal para producir corticosterona, hasta que el agente estresante deje de ejercer efecto, o en caso de seguir el animal morirá por fatiga (Minton, 1994).

En este sentido se han distinguido tres fases de respuesta ante el estrés: 1) alarma, seguida por 2) resistencia (activación del sistema neurohormonal) y, de no obtenerse los resultados satisfactorios deriva en 3) agotamiento del sistema de respuesta (estado patológico) y eventualmente la muerte (von Borell, 2001; Rosmini y Signorini, 2010). Efecto que es proporcional al tipo de estrés encontrado, el que puede existir en la granja durante el proceso de producción de pollo, que dependiendo de la intensidad con que ocurra próximo a la matanza será su intensidad; y aquel relacionado con las condiciones *pre-mortem* (manejo, transporte, alimentación, etc), probablemente el de mayor importancia e impacto en la calidad. Así, la respuesta a los factores de estrés requiere de una sucesión de eventos, comenzando con la percepción de mecanismos biológicos por parte del animal cuando existe para él una amenaza. Seguido por la activación de mecanismos neurofisiológicos para enfrentar un esfuerzo, resistir y prevenir daños mayores. Los detectores reciben la información, pero también la transforman en señales que son transmitidas a los centros nerviosos cognocitivos y no cognocitivos para generar respuestas coordinadas a este desafío. El sistema nervioso central (SNC), sistema endocrino y sistema inmunológico, interaccionan, respondiendo a los estímulos estresantes de una manera coordinada e influyen en el desarrollo de los animales (von Borell, 2001; Rosmini y Signorini, 2010) (Figura 5).

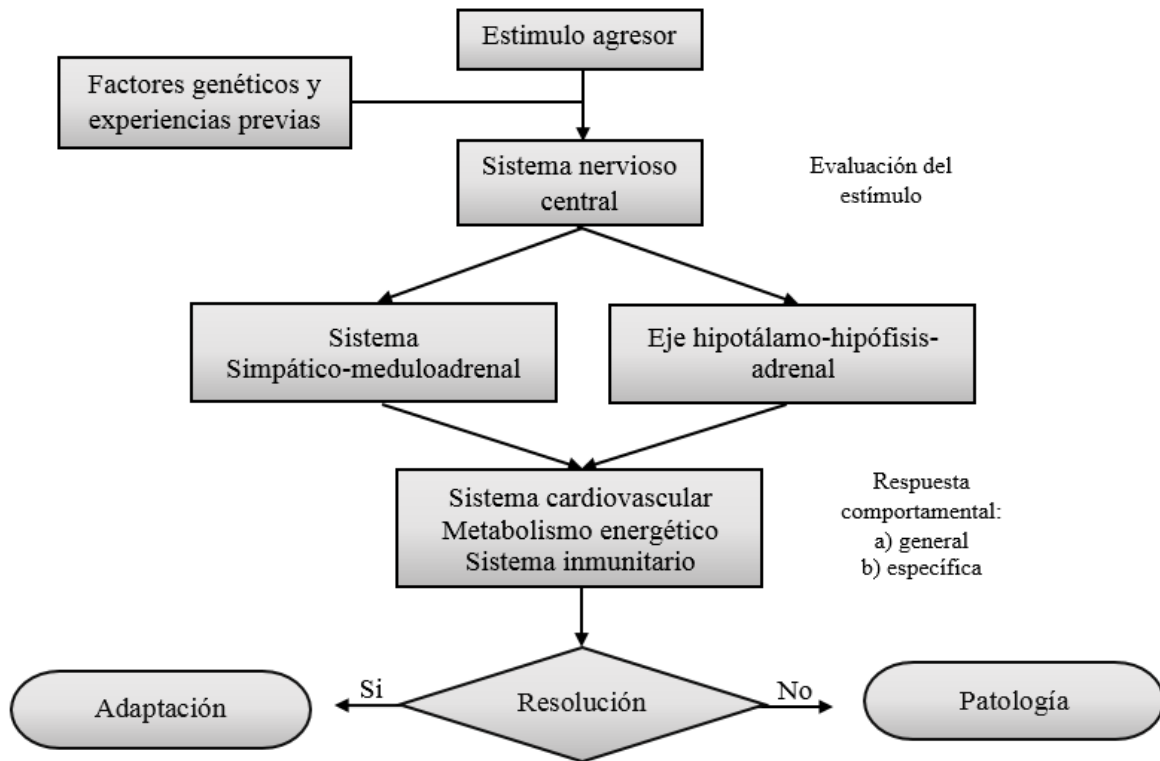


Figura 5. Integración neurobiológica del estrés
Rosmini y Mancini, 2010

Debido a la alta demanda que se ejerce a la industria avícola, ésta es susceptible a generar daños en la calidad de la carne debido al manejo *ante-mortem* sobre todo por efectos de estrés, siendo los más importantes:

Captura. El proceso de captura ocasiona temor y taquicardia ya sea la captura manual o mecánica, aunque en la maniobra mecánica las aves retornan a la normalidad más rápidamente (Duncan *et al.*, 1986). Debido a que este proceso debe ser rápido obliga a los trabajadores a enjaular sin el debido cuidado generando estrés en el animal o en su defecto dislocación o ruptura de huesos, lesiones en la piel y moretones en la canal, por lo que se recomienda tomar cada una de las aves con las dos manos sosteniéndola individualmente con las alas cerradas ya que esto disminuye significativamente la aparición de lesiones en las canales (Tejeda *et al.*, 2014).

Estrés calórico. Es la causa principal de muerte al arribo en pollos de engorda a los mataderos, este tipo de estrés se encuentra relacionado con el estrés generado en la transportación. Mitchel y Kettlwell (1998) afirman que la temperatura es el principal factor que induce el estrés durante el transporte, incrementa la mortalidad, reduce la productividad y afecta la calidad de la canal. Holm y Fletcher, (1997) y Bautista, (2013) reportan que el pollo de engorda bajo condiciones de alta temperatura (> 29°C) antes del procesamiento puede afectar negativamente las mermas en aves vivas; así como las características de calidad, obteniendo la condición PSE.

Tiempo de espera a la matanza. Es otro de los factores de manejo que pueden alterar la calidad de la carne, las primeras 12 h *ante-mortem* son de actividad intensa que puede ser extremadamente estresante para el ave. Durante este periodo crítico intervienen además otros factores que reducen el rendimiento si ocurren de manera inapropiada (Sams, 1999). El riesgo de muerte se incrementa a medida que aumenta el tiempo de espera (Delezie *et al.*, 2007), esta observación se atribuye a una mayor actividad de las aves en las jaulas (Kite y Duncan, 1998). La pérdida de peso es un indicador de estrés al que está sometido el animal y ocurre en tres momentos durante las últimas horas antes de la matanza del ave, comienza con el ayuno, seguido por el transporte y finaliza con el tiempo de espera en la planta de procesamiento (Vargas *et al.*, 2005). Otro indicador es el daño en la canal y la piel, colores rojizos que se genera por una vasodilatación periférica que provoca una elevada temperatura (Kite y Duncan, 1998; Cepero, 2000; Vargas *et al.*, 2005). Además de ocasionar un valor de pH alto en la carne y la condición de calidad OFS (Barbut *et al.*, 2005; Bautista, 2013).

4.4.1. Efecto del estrés sobre la calidad de la carne

La calidad de la carne se clasifica en función de cómo se lleva a cabo el proceso de conversión de músculo en carne y depende directamente del manejo *ante y post-mortem* del animal y la carne, en este sentido se han definido tres categorías de calidad con base en el pH final, color y pérdidas por goteo o CRA:

- a) Pálida suave y exudativa (PSE).** Esta condición presenta valores bajos de pH, se caracteriza por el desarrollo *post-mortem* de un color pálido (al incrementar los valores de luminosidad L*), una textura suave (Lambooi, 1999), una considerable exudación del músculo (mayores pérdidas por goteo y cocción) (McKee y Sams, 1997) y una reducida capacidad de retención de agua debido a la desnaturalización de proteínas (Woelfel y Sams, 2001). La condición PSE resulta de una muy rápida glucólisis *post-mortem* y la temperatura es alta. El decline de pH es dos veces más rápido en músculos PSE.
- b) Oscura firme y seca (OFS).** Músculos que tienen un valor final de pH >6.0 que parece mucho más oscura de lo normal. La apariencia oscura es debido a la velocidad de la respiración mitocondrial la cual reduce el paso de oxígeno y por lo tanto la proporción visible de oximioglobina. Un valor alto de pH incrementa la capacidad de retención de agua de las proteínas miofibrilares debido a que están más allá de sus puntos isoeléctricos (Greaser, 1986). Esta condición se presenta cuando el animal es sometido a ayunos prolongados después de 24 h (Troeger, 1996) o incluso 60 h (Bidner *et al.*, 2004), o en animales ejercitados o exhaustos antes de la matanza (Qiao *et al.*, 2002). Los principales problemas de esta condición de calidad de carne es su color oscuro, lo que afecta la preferencia del consumidor al momento de la compra (Qiao *et al.*, 2002), incremento en la variación de ternura, palatabilidad pobre, textura más firme, mayor absorción de luz y niveles inaceptables de crecimiento de microorganismos con el consecuente desarrollo de olor desagradable y, a menudo, estructura cerrada de las fibras musculares, por lo que se absorbe lentamente las sales curantes (Prince y Schweigert, 1995; Mach *et al.*, 2008). 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 (Qiao *et al.*, 2002).
- c) Carne Roja, Firme y No Exudativa (RFN).** Calidad de carne que se considera como la ideal, se trata de una carne roja, firme y normal. Esta característica la hacen

adecuada tanto para el consumo en fresco como para la fabricación de productos cárnicos (Kauffman *et al.*, 1992).

4.7 Potencial glucolítico

El potencial glucolítico se define como la relación que permite cuantificar los diversos sustratos, entre ellos el glucógeno que es transformado en glucosa, que se encuentran en el músculo para convertirse en ácido láctico (Mancini y Hunt, 2005). Además que ciertas concentraciones de hormonas en plasma, enzimas y metabolitos como el cortisol, corticosterona, creatin quinasa y glucosa han sido sugeridos ser parámetros sensibles indicadores del nivel de estrés y daños en aves de corral (Nijdam *et al.*, 2005).

En este sentido dependiendo del manejo *ante-mortem* y *post-mortem*, el metabolismo glucolítico y la acumulación de ácido láctico en la glucólisis, pueden verse afectados los parámetros de la calidad de la carne (Bendall and Swatland, 1988). El PG ha sido correlacionado con otros parámetros para detectar la calidad de la carne; Meadus y MacInnis (2000) y Mancini y Hunt (2005) sugieren la correlación del PG y color de la carne de cerdo en las variables de color L^* y b^* , un incremento en el PG promueve la acidez, la palidez y amarillez. Altos niveles de lactato se correlacionan directamente con L^* . Además, el azúcar libre producto del metabolismo del glucógeno, está relacionada con un color oscuro en la carne y tiene una relación inversa con el PG. Por lo que este mismo autor menciona que reducir los niveles de PG y glucosa libre podrían mejorar el color de la carne de cerdo. En carne de pollo, Zhang *et al.*, (2009) evaluaron el efecto del transporte sobre el metabolismo de la sangre, el PG y la calidad de la carne, encontrando bajas concentraciones de glucógeno, lactato y PG a mayor tiempo de transporte. Además se reportó que la elevación de la concentración de glucosa en la sangre es debida a la degradación del glucógeno en el hígado. Freeman *et al.*, (1984) menciona que un estrés agudo en pollos puede desarrollar hipoglucemia a consecuencia del agotamiento de las reservas de glucógeno. Monin *et al.*, (1987), por su parte indica que niveles bajos de GP está relacionados con fibras musculares de tipo oxidativo.

Como ya se ha mencionado el agotamiento del glucógeno por efecto de estrés afecta la calidad de la carne. Esto debido a la acumulación del ácido láctico producto del incremento de la glucogenólisis, lo que induce a bajos pH y CRA e incluso a presentarse la condición PSE. No obstante, cuando el estrés es muy prolongado los pollos pueden recuperarse y se podría reducir los efectos negativos en la calidad de la carne, por la disminución en la concentración de lactato y GP (Zhang *et al.*, 2009). La concentración de lactato presente en el músculo será resultado principalmente de la degradación de sustratos como el glucógeno, glucosa y glucosa 6-fosfato; metabolitos que pueden ser evaluados por métodos enzimáticos (Keppler y Decker, 1970; Dalrymple y Hamm, 1973; Monin and Sellier, 1985), mismos que se relacionan directamente con el concepto de PG, el cual se puede calcular y analizar de acuerdo a la siguiente ecuación: $GP=2[(\text{glucógeno}) + (\text{glucosa}) + (\text{glucosa-6-fosfato})] + (\text{lactato})$, la cual representa una estimación de los niveles residuales de glucógeno *post-mortem* en el músculo. No obstante, Hambrecht *et al.*, (2005) y Zhang *et al.*, (2009) proponen incluir en la determinación del glucógeno la determinación conjunta de la concentración de glucosa-6-fosfato y glucosa, reduciendo la ecuación a: $(PG) = 2 \times \text{glucógeno} + \text{lactato}$.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Tecnología de la Carne del Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. Los análisis fisicoquímicos se realizaron en el Laboratorio de Ciencias de los Alimentos 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 1,807.3 mm y temperatura media anual de 23 °C (García, 1989).

5.2 Animales y diseño experimental

Pollos de la línea Ross 308, de seis semanas de edad se obtuvieron de una granja comercial aledaña al Campus, con un peso vivo (PV) promedio de 2.80 Kg, a los cuales se les capturó y transportó (por 15 min). En total se evaluaron 162 pollos, divididos en 9 tratamientos. Las aves se colocaron en una jaula de plástico en una densidad de 9 pollos m², mismas que se les asignó aleatoriamente los siguientes tratamientos: estrés calórico (EC) a 30°C con 2, 4 y 8 h de tiempo de espera a la matanza (TEM) (2h30, 4h30, 8h30), EC a 35°C con 2, 4 y 8 h de TEM (2h35, 4h35, 8h35) y EC a 40°C con 2, 4 y 8 h de TEM (2h40, 4h40, 8h40). Todas las aves durante este proceso estuvieron en condiciones de ayuno (14 h aproximadamente). Durante el tiempo de espera a la matanza la temperatura se monitoreó con un termómetro digital.

El proceso de la matanza se llevó a cabo de manera comercial, aleatoriamente se sacrificaron 6 pollos de cada jaula, aplicando aturdimiento eléctrico (287mA, 7s) con un cuchillo aturridor (MidwestVS200, USA), se dejó desangrar por 5 minutos, se procedió a retirar la piel junto con la pluma y evisceración manual. Después de la evisceración las canales fueron enfriadas en agua con hielo durante 4 h. Posteriormente se removió la pechuga y se almacenó a 4 °C durante 24 h. El efecto de los tratamientos se evaluó en las

variables de rendimiento en peso vivo (PV) y de canal (RCC); en calidad de la carne, pH y color; y en propiedades funcionales, proteína, CRA, rendimiento en cocción (RC) y textura expresada como fuerza al corte. Además se evaluó el potencial glucolítico en músculo y glucosa y lactato en plasma sanguíneo.

5.3 Variables de rendimiento

Rendimiento de peso vivo (PV %)

Las aves se pesaron a su llegada al área de experimentación antes de someterlas a los factores de estrés propuestos, una vez transcurrido el tiempo de espera y temperatura asignada, los pollos se pesaron nuevamente previo a la matanza y se calculó el rendimiento por diferencia de peso con respecto a su peso inicial en kilogramos.

Rendimiento en canal (RCC %)

El rendimiento de la canal se calculó la diferencia del peso de la canal eviscerada sin piel respecto al peso inicial del ave (Tejeda *et al.*, 2014).

5.4. Calidad de la carne

pH

El pH de la carne se midió a las 24 h *post-mortem* en el músculo *Pectoralis major* con un potenciómetro portátil de punzón (HANNA H199163); se introdujo el electrodo del potenciómetro en la parte inferior de forma perpendicular al músculo evitando zonas con grasa, tomando el valor hasta que se estabilizó la lectura (Bianchi *et al.*, 2007).

Color

El color de la carne de pollo se determinó con un colorímetro Konica Minolta (Modelo CR-400), en la parte interna de la pechuga, los resultados se expresaron con las coordenadas L*, a* y b* (Bianchi *et al.*, 2007).

5.5 Propiedades funcionales de la carne

Proteína

La proteína total se determinó utilizando un determinador de nitrógeno (Truspec® N Leco) y se utilizó el factor 6.24 para la conversión del contenido de nitrógeno en proteína cruda. Los resultados se expresaron como porcentaje de proteína por cada 100 g de carne.

Capacidad de retención de agua (CRA)

La CRA se realizó utilizando el método propuesto por Guerrero *et al.*, (2002). Se utilizaron 5 gramos de carne finamente picada y se le añadieron con 8 mL de una disolución de NaCl 0.6 M en un tubo de centrífuga la mezcla se agitó por un minuto con una varilla de vidrio y los tubos se colocaron en baño con hielo durante 30 min, las muestras se agitaron nuevamente con una varilla de vidrio, posteriormente se centrifugaron a 10,000 rpm durante 15 min en una centrifuga (Clay Adams, Sparks, Modelo 420101, USA). El sobrenadante se decantó en una probeta y se midió el volumen, que 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.

Rendimiento en cocción (RC)

La pechuga se pesó, se colocó en charolas de aluminio y se sometió a cocción en un horno de convección (Hobart, HEC-5, México) a una temperatura de 100°C hasta alcanzar una temperatura interna de 74°C. La temperatura interna se monitoreó con un termopar (Oakton instruments, Modelo WD-35427-10, Beijín, China) acoplado con un termocople. Pasadas 2 h del término de la cocción, para alcanzar la temperatura ambiente, se pesó nuevamente la pechuga. Los valores se expresaron como porcentaje de rendimiento a la cocción.

Textura

La pechuga de pollo una vez se alcanzó la temperatura ambiente, después de ser cocida, se evaluó la textura de cada tratamiento expresada como la fuerza de corte en la carne; ésta

se determinó con una celda de Allo-Kramer adaptada a un texturómetro (Shimadzu, EZ-SX); según el método de Cavitt *et al.*, (2005). Para medir la resistencia al corte con la cuchilla AK (Kg por g de muestra) se cortaron muestras de la parte del músculo *Pectoralis major* de (40 x 20 x 7 mm) por triplicado, en sentido perpendicular a las fibras musculares. Cada muestra se pesó antes de realizar el corte y se programó el análisis con el programa TRAPEZIUM2 Versión 1.04SP (1999-2008) a una fuerza de carga de 5 Kg y a una velocidad de la cuchilla de 500 mm/min. Los valores se expresaron en Kg por gramo de muestra.

5.6 Potencial Glucolítico

La evaluación del PG se realizó en muestras del musculo *Pectoralis major* (10 g) a las 24 h *post-mortem* las cuales se colocaron en bolsas al vacío y se congelaron con nitrógeno líquido para ser almacenadas a -80°C hasta su análisis. Este se realizó mediante la determinación del glucógeno y el lactato por el método propuesto por Hambrecht *et al.*, (2005) y Xu *et al.*, (2011), en el cual se tomó una muestra de 1.0 g y le adicionó 9 mL de una solución de ácido perclórico (HClO₄) al 0.85 M (previamente enfriado a 4°C), la muestra se homogeneizó con un polytron (PT 1200 E) por 1 min, posteriormente se centrifugó a 10, 000 rpm por 10 min a 4°C, la fracción sobrenadante se filtró con lana de vidrio, se colocó en frascos de vidrio y se neutralizó con KOH 10 M. El sobrenadante se separó en tubos estériles de plástico y se almacenó a -80°C hasta su análisis. Para la determinación de lactato una vez descongelada la muestra se analizó en un espectro (Genesys 10s) a 340 nm con el kit comercial (L-lactic acid Bioehringer Mannheim). Para la valoración del glucógeno se tomó 0.5 mL del sobrenadante, se hidrolizó enzimáticamente a glucosa por incubación con la enzima amiloglucosidasa (1 mg, A7420, Sigma-Aldrich Inc., St. Louis, MO) en una solución tampón de acetato (1 mL), a pH 4.8, a 55°C por 2 h (Dalrymple y Hamm, 1973). Después de la incubación, la muestra se neutralizó con KOH 10 M. El glucógeno se analizó con el kit comercial (Sigma-Aldrich GAGO) en un espectro (Genesys 10s) a 540 nm. En estas condiciones la hidrolisis enzimática es cuantitativa; por lo que, el contenido de glucosa corresponde al contenido de glucógeno de la muestra (Keppler y Decker, 1970). El potencial

glucolítico se calculó con la fórmula propuesta por Zhang *et al.*, (2009); Potencial glucolítico PG= 2 x glucógeno + lactato.

Para la obtención de plasma sanguíneo se utilizaron de muestras de sangre, (7 mL, obtenidas del ala del ave después de ser sometida a los factores de estrés), colocadas en tubos de centrifuga heparinizados (BD Vacutainer Sodium Heparin), inmediatamente fueron centrifugados a 10,000 rpm por 15 minutos. El plasma sanguíneo resultante se almacenó a -80°C hasta su análisis. En el plasma sanguíneo se realizaron las determinaciones de glucosa y lactato. Para el caso de la glucosa se utilizó un kit de glucosa oxidasa (Sigma-Aldrich GAGO) y para el caso de lactato con un kit de L-lactic acid (Bioehringer Mannheim) y se realizó la determinación en un espectro (Genesys 10s) a 540 y 340 nm, respectivamente.

5.7 Análisis estadístico

El efecto de los tratamientos sobre las variables de rendimiento, calidad de la carne, propiedades funcionales y potencial glucolítico, se evaluó en 6 aves al azar de cada unidad experimental. El PV y RCC se evaluaron previo y posterior a la matanza. Las propiedades de calidad (pH y color) y propiedades funcionales (proteína, CRA, PC y textura) y el PG se evaluaron a las 24 h *post-mortem*. Los resultados de cada una de las variables de los 9 tratamientos se analizaron con un Diseño Factorial Completamente al Azar, 3x3: estrés calórico (EC) a 30, 35 y 40°C con 2, 4 y 8 h de tiempo de espera a la matanza (TEM). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el procedimiento ANOVA usando el procedimiento GLM y la prueba F para efectos simples del paquete estadístico SAS 9.3 (2011). Se realizó una comparación de medias, utilizando la prueba de Tukey. Se asume un modelo estadístico de doble entrada con interacción para el análisis de los datos, de la siguiente manera:

$$Y_{ijl} = \mu + \alpha_j + \beta_l + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijl}, \quad i = 1, \dots, r; \quad j = 1, \dots, a; \quad l = 1, \dots, b;$$

Donde:

Y_{ijl} : la respuesta de la variable aleatoria al i -ésimo nivel del factor EC y j -ésimo nivel del factor TEM,

μ : una media general para los datos poblacionales del experimento completo,

α_j : el efecto que produce el j -ésimo nivel del factor EC,

β_l : el efecto que produce el l -ésimo nivel del factor TEM,

$(\alpha\beta)_{ij}$: el efecto adicional de la interacción para la combinación del j -ésimo nivel del factor EC con el l -ésimo nivel del factor TEM, y la i -ésima repetición.

ϵ_{ijl} : es el error experimental asociado a la observación ijl -ésima que como siempre los errores se suponen normales, independientes, con esperanza cero y varianza común σ^2 .

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Variables de rendimiento

Rendimiento de peso vivo (PV %). El estrés calórico (EC) y el tiempo de espera a la matanza (TEM), de manera independiente, presentaron un efecto significativo sobre el rendimiento en peso vivo. En la Figura 6, se observó diferencias significativas ($P < 0.05$) para el tratamiento de 2 h de espera sometido a 30 °C con el tratamiento de 8 h de espera a la misma temperatura. El tratamiento 2 h presentó diferencia significativa en un tiempo de espera de 8 h, sometido a 35°C, pero no presenta diferencias a las 4 h de espera. Los rendimientos de PV fueron menores en los tratamientos sometidos a 40°C en los diferentes tiempos de espera; no obstante, a las 2 h de TEM no presentó diferencias con el tratamiento de 4 h de espera pero si presentó esta diferencia ($P < 0.05$) a las 8 h a la misma temperatura.

Rendimiento en canal (RCC %). La variable de rendimiento en canal fue afectada significativamente por el EC y el TEM de manera independiente (Figura 7). Se observó un menor rendimiento al incremento en las horas de espera a la matanza en los diferentes tratamientos de estrés calórico. Los tratamientos a 30°C no presentaron diferencia significativa entre ellos. El tratamiento 8h35 fue significativamente diferente de los tratamientos a 2 y 4 h de espera con la misma temperatura. El tratamiento expuesto 2 h a 40°C fue significativamente diferente al tratamiento expuesto a 8 h a 40°C.

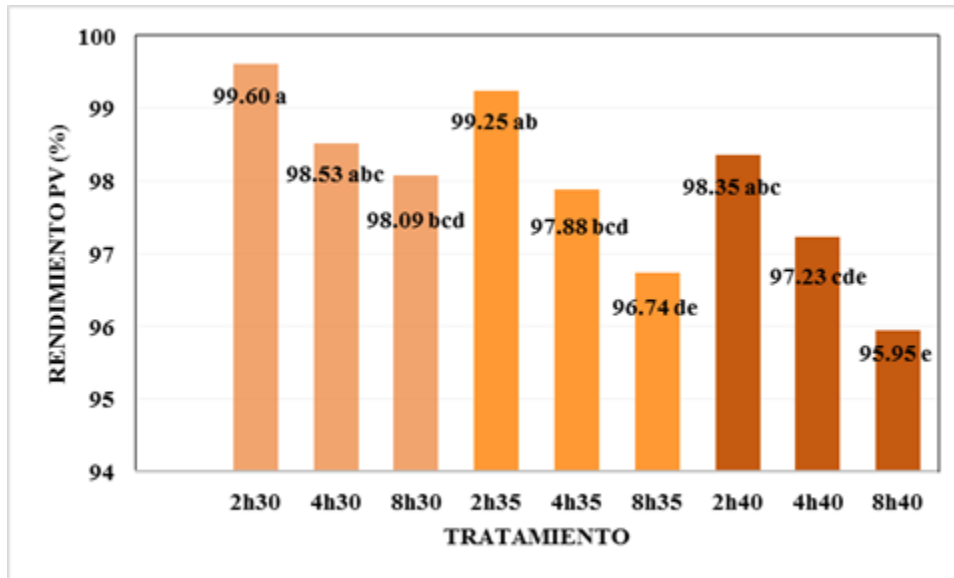


Figura 6. Rendimiento de peso vivo

2h30 = 2 h de espera a 30°C; 4h30 = 4 h de espera a 30°C; 8h30 = 8 h de espera a 30°C; 2h35 = 2 h de espera a 35°C; 4h35 = 4 h de espera a 35°C; 8h35 = 8 h de espera a 35°C; 2h40 = 2 h de espera a 40°C; 4h40 = 4 h de espera a 40°C; 8h40 = 8 h de espera a 40°C.
 a, b, c, d, e: Medias con literales distintas en cada hilera son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

$P = 0.4402$ EC x TEM.

Los resultados obtenidos en esta investigación mostraron comportamientos similares a los reportados por Smith *et al.*, (2002) al aumentar las horas de ayuno en las aves y por Aksit *et al.*, 2006 en el efecto del estrés calórico. El tiempo prolongado previo a la matanza causa una pérdida de peso vivo y de rendimiento de la canal; esta pérdida de peso puede variar de acuerdo a las condiciones de transporte, temperatura ambiental y ventilación (Richardson y Mead, 2001 y Tejeda *et al.*, 2014). Las aves compensan a partir de los 28 °C sus necesidades energéticas para su termorregulación corporal; pero temperaturas ambientales elevadas provocan un aumento en la tasa respiratoria y el flujo sanguíneo (por cada g de agua que se evapora se disipan 540 calorías de energía) para aumentar el enfriamiento (Estrada y Márquez, 2005). Cuando la temperatura y humedad son muy elevadas, las aves comienzan a jadear para eliminar el calor por evaporación. Este proceso induce alcalosis respiratoria (Rastogui, 2007), los fluidos corporales se vuelven alcalinos, causando que los riñones excreten grandes cantidades de electrolitos, por lo tanto la pérdida de peso aumenta a medida que EC y TEM aumentan. En general, el rendimiento es

un indicador de estrés utilizado en la avicultura comercial y uno de los parámetros de más importantes para los avicultores que dependen del rendimiento para el éxito de sus empresas.

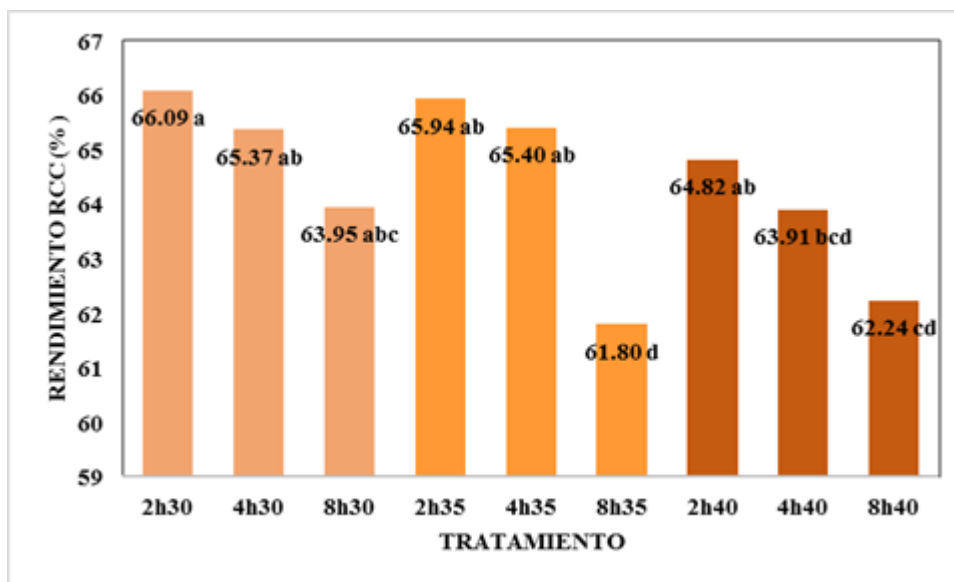


Figura 7. Rendimiento en canal

a, b, c, d,: Medias con literales distintas en cada hilera son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$). 2h30 = 2 h de espera a 30°C; 4h30 = 4 h de espera a 30°C; 8h30 = 8 h de espera a 30°C; 2h35 = 2 h de espera a 35°C; 4h35 = 4 h de espera a 35°C; 8h35 = 8 h de espera a 35°C; 2h40 = 2 h de espera a 40°C; 4h40 = 4 h de espera a 40°C; 8h40 = 8 h de espera a 40°C.

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

$P = 0.1023$ EC x TEM.

6.2. Calidad de carne

pH. El EC y TEM, de manera independiente, presentaron efecto significativo sobre el pH a las 24 h *post-mortem*; principalmente al final del periodo de espera a la matanza ($P < 0.05$) en las diferentes temperaturas de estrés calórico; 8h30°C, 8h35°C y 8h40°C (Cuadro 2). En la presente investigación el pH incrementó alcanzando valores de pH superiores a 6.0 (EC 35 y 40°C). El TEM presentó efecto significativo a las 4 y 8 h en los tratamientos de las aves expuestas a 30°C y de 2 a 8 h en los tratamientos de las aves expuestas a 35°C.

Kannan *et al.*, (1997), encontraron que valores de pH superiores a 6.0 son característicos de la condición de carne OFS, resultado de un estrés crónico antes de la matanza, donde el glucógeno muscular se agota y las proteínas se alejan de su punto isoeléctrico. Bendall (1973) encontró que la velocidad de disminución de pH no tiene una relación directa o lineal con un mayor contenido de glucógeno *post-mortem*, pero si influye en la magnitud de la disminución del pH, ya que este puede estabilizarse en presencia del glucógeno residual. No obstante, cuando mayor sea el pH final, más oscura es la carne. Dransfield (1994) menciona que cuando el músculo alcanza un pH de aproximadamente 6.3 las proteínas se degradan hasta que las enzimas se agotan. Adicionalmente, un pH alto favorece el crecimiento bacteriano, lo cual disminuye la vida de anaquel de la carne (Grandin, 2000).

Los tratamientos 2h30, 4h30, 8h30 y 8h35 presentaron pH de la calidad normal de la carne de pollo de acuerdo a lo establecido con Qiao *et al.*, (2002) y Barbut *et al.*, (2005); sin embargo, Terlow (2004) ha mostrado que en la producción de carne de cerdo bajo diferentes niveles de estrés un pH final normal no necesariamente significa que los animales no estuvieron estresados.

Color. El EC presentó un efecto significativo ($P < 0.05$) en sobre la variable L^* (luminosidad) a las 24 h *post-mortem*, diferencia que se notó en los pollos sometidos 2 h a 30°C con 2h40, 4h35 con 4h40 y 8h30 con 8h40 (Cuadro 2). Los valores de L^* en las tres temperaturas no mostraron diferencias por efecto de TEM (Cuadro 2). Estos resultados prueban que la combinación de valores de L^* bajos y pH altos, afectan directamente la calidad de la carne de pollo, al presentar características típicas de una carne OFS. Comportamiento similar a lo encontrado por Froning *et al.*, (1978) en pavos sometidos a estrés calórico por una hora a 42°C con valores de L^* de 41.1; y por Bautista (2013) en pollos con tiempos de espera a la matanza de 8 h sin estrés calórico, con valores de L^* de 46.07. En este sentido, Barbut *et al.*, 2005 y Qiao *et al.*, 2002 mencionan que en estas condiciones de estrés las fibras musculares se agrupan en forma más densa y compacta, lo que induce a valores de $L^* < 46$ dando una apariencia más oscura y poco atractiva para el consumidor. Esto debido al efecto

traslucido y luz incidente que se transmite hacia lo profundo del músculo y se absorbe intensamente, con muy poca dispersión (Allen *et al.*, 1997).

En tanto que el índice de rojo (a^*) a las 24 h *post-mortem* no mostró efecto significativo ($P < 0.05$) para ningún tratamiento en EC y TEM (Cuadro 2). No obstante, Boulianne y King (1998) mencionan que el contenido de mioglobina y hierro en carne oscura de pechuga de pollo es más elevado que en carnes normales; mientras que pollos sometidos a un estrés agudo *ante-mortem*, aumento paulatino del tiempo de colgado antes de la insensibilización, incrementa los valores rojizos (a^*) de la pechuga de pollo Schneider *et al.*, (2012), coincidiendo con los valores reportados en este trabajo.

En el caso del índice de amarillo (b^*) a las 24 h *post-mortem* el EC mostró efecto significativo ($P < 0.05$) en algunos de sus tratamientos (8h30, 2h35, 8h35 y 4h40), sin una tendencia definida. Sandercock *et al.*, (2001), mencionan que un estrés calórico agudo de 32°C por 2 h aplicado a pollos antes de la matanza o a 42°C por 1 h (Froning *et al.*, 1978), no tuvo un efecto en el color de la pechuga. Mientras que McKee y Sams (1997) mencionan que el efecto de un estrés calórico estacional crónico en pavo acelera el metabolismo y los cambios bioquímicos en el músculo tales como un rápido declive del pH, un pH final bajo y un alto valor de L^* , lo que contribuye a características PSE.

Cuadro 2. Efecto del estrés calórico (EC) y tiempo de espera a la matanza (TEM) sobre el pH y color del músculo *Pectoralis major* de pollo.

Variable	Tratamientos									P-value		
	2h30	4h30	8h30	2h35	4h35	8h35	2h40	4h40	8h40	EC	TEM	EC x TEM
pH	5.93 ± 0.06 ^{ef}	5.99 ± 0.14 ^{cde}	5.78 ± 0.08 ^f	6.14 ± 0.04 ^{abc}	6.11 ± 0.10 ^{bcd}	5.98 ± 0.09 ^{de}	6.21 ± 0.10 ^{ab}	6.27 ± 0.06 ^a	6.13 ± 0.08 ^{abc}	<0.0001	<0.0001	0.1853
L	50.83 ± 2.24 ^a	48.91 ± 3.10 ^{ab}	49.23 ± 1.89 ^{ab}	47.77 ± 1.29 ^{abc}	50.37 ± 1.48 ^a	47.93 ±3.18 ^{abc}	45.44 ± 5.29 ^{bc}	46.13 ± 0.45 ^{bc}	44.44 ± 2.18 ^c	<0.0001	0.2827	0.2236
a*	3.60 ± 2.93 ^a	3.75 ± 1.52 ^a	4.33 ± 0.56 ^a	4.90 ± 1.83 ^a	4.72 ± 0.64 ^a	4.90 ± 1.90 ^a	4.70 ± 1.02 ^a	4.72 ± 0.52 ^a	4.94 ± 0.43 ^a	0.0759	0.7246	0.9772
b*	15.67 ± 2.59 ^{ab}	16.33 ± 2.89 ^{ab}	16.41 ± 1.44 ^a	13.94 ± 0.70 ^b	15.66 ± 1.37 ^{ab}	14.00 ± 0.96 ^b	16.15 ± 0.99 ^{ab}	16.56 ± 0.93 ^a	16.18 ± 1.18 ^{ab}	<0.0001	0.0838	0.3902

EC = factor estrés calórico; TEM = factor tiempo de espera a la matanza; EC x TEM = interacción temperatura con tiempo de espera a la matanza. L* = luminosidad; a* = índice de rojo; b* = índice de amarillo; 2h30 = 2 h de espera a 30°C; 4h30 = 4 h de espera a 30°C; 8h30 = 8 h de espera a 30°C; 2h35 = 2 h de espera a 35°C; 4h35 = 4 h de espera a 35°C, 8h35 = 8 h de espera a 35°C; 2h40 = 2 h de espera a 40°C; 4h40 = 4 h de espera a 40°C; 8h40 = 8 h de espera a 40°C;

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

P < 0.05 en EC, TEM y EC x TEM: presentan efecto significativo sobre las variables analizadas.

6.3 Propiedades funcionales de la carne

Proteína. El EC y TEM mostraron un efecto significativo sobre el contenido total de proteína ($P < 0.05$) donde los tratamientos estadísticamente diferentes fueron 8h30 y 2h35. Los valores obtenidos, como se muestra en la Cuadro 3, fueron ligeramente altos, promedio de 24.52 % de proteína, a aquellos detectados por Qiao *et al.*, (2002) en pechuga de pollo con características OFS y normal, 23.27 y 22.96 % respectivamente, sobre todo a mayores tiempos de espera y mayores temperaturas de estrés calórico, en comparación con una carne PSE (22.58 %). Berri *et al.*, (2001) reporta valores promedio de 23.56 % en carne normal de cuatro líneas de engorda diferentes, indicando que la proteína generalmente incrementa por una disminución del agua con la edad y madurez de los pollos.

Capacidad de retención de agua. El EC y TEM presentaron efecto significativo ($P < 0.05$) en la CRA. En el Cuadro 3, se observa que la CRA aumentó al incrementar el EC, condición que se confirma con los altos valores de pH obtenidos. Los pollos sometidos a 2h30 fue significativamente diferente ($P < 0.05$) con 2h35 y 2h40, siendo similares estos últimos. La CRA se relaciona más con el contenido de proteínas miofibrilares (miosina y actina) que con las proteínas sarcoplasmáticas (Offer *et al.*, 1998); siendo las proteínas miofibrilares las que proveen de las propiedades funcionales, incluyendo la jugosidad y calidad tecnológica. Lawrie (1985) menciona que la exudación de agua en la carne, depende de la cantidad de líquido liberado de su asociación a las proteínas musculares y de la facilidad de acceso al exterior del líquido liberado. Qiao *et al.*, (2001) reportó que el porcentaje de líquido expresable para carne con condición OFS y PSE fue de 38.50 y 51.73 %, respectivamente, en comparación de una carne normal con 43.77 %; tendencia similar a los valores encontrados en este estudio.

Rendimiento en cocción (RC %). El TEM presentó un efecto significativo ($P < 0.01$) sobre el rendimiento en cocción de la pechuga de pollo, los valores con mayor porcentaje fueron a las 4 h de espera a la matanza en diferentes temperaturas (Cuadro 3). Las pérdidas por cocción son de gran importancia para la industria de elaboración de productos cárnicos y sobre todo por las implicaciones económicas que conlleva esto. En promedio se obtuvo una pérdida por

cocción del 13.62 %, comparada con aquella que obtuvo Barbut (1993) del 9 % en carne de pavo OFS y PSE. Woelfel y Sams, (2001) indican que valores altos de pérdidas por cocción (> 14.69 %) corresponden a una condición de calidad de carne PSE, característica atribuida a bajo pH y por ende baja extractabilidad de proteína, comparada con una carne normal o OFS, 11.25 y 11.01 % respectivamente.

Textura. Se presentó un efecto significativo ($P < 0.05$) en EC y TEM, de manera independiente, sobre la evaluación de textura. En este estudio, la fuerza de corte del músculo *Pectoralis major* sometidas a 8h de espera antes de la matanza en todas las temperaturas ambientales ensayadas incrementó (Cuadro 3). Lee *et al.*, (2008) menciona que la terneza de la carne aumenta a través de una acelerada liberación de iones de calcio en el retículo sarcoplásmico, aumentando así la actividad del sistema proteolítico de las calpaínas. Además, este proceso está estrechamente relacionada con el pH final (Watanabe *et al.*, 1996 y Woelfel y Sams, 2001). En este estudio, aun cuando se obtuvieron niveles de pH altos y se observó un incremento de la terneza a medida que aumentó el tiempo de espera a la matanza, los valores alcanzados fueron bajos en comparación con los reportados para una carne normal, 5.09 Kg/g (Cavitt *et al.*, 2004). Sin embargo, otros estudios reportaron valores de fuerza de corte de 2.50 Kg para pavos sometidos a estrés calórico a 42°C por una hora (Wood y Richards, 1975) y de 1.35 Kg para pollos de las estirpes Arbor Acres y Beijing You sometidos a estrés calórico de 34°C por tres semanas (Lu *et al.*, 2007).

Cuadro 3. Efecto del estrés calórico (EC) y tiempo de espera a la matanza (TEM) sobre las propiedades funcionales de la carne de pollo.

Variable	Tratamientos									P-value		
	2h30	4h30	8h30	2h35	4h35	8h35	2h40	4h40	8h40	EC	TEM	EC x TEM
Proteína (%)	23.80 ± 0.30 ^{bc}	24.44 ± 0.53 ^{abc}	25.62 ± 0.12 ^a	23.43 ± 0.73 ^c	24.35 ± 0.13 ^{acb}	25.04 ± 0.57 ^{ab}	25.26 ± 0.39 ^{ab}	24.20 ± 1.38 ^{abc}	24.56 ± 0.99 ^{abc}	0.3266	0.0074	0.0113
CRA (mL/100g)	51.20 ± 9.55 ^c	76.00 ± 10.58 ^{ab}	61.60 ± 7.80 ^{bc}	85.60 ± 10.43 ^a	73.00 ± 10.52 ^{abc}	71.00 ± 9.45 ^{abc}	85.00 ± 13.22 ^a	81.60 ± 7.27 ^{ab}	82.40 ± 8.76 ^{ab}	<0.0001	0.4150	0.0057
RC (%)	86.60 ± 2.90 ^a	89.26 ± 2.04 ^a	83.15 ± 1.18 ^a	84.23 ± 5.95 ^a	89.08 ± 3.04 ^a	84.62 ± 1.93 ^a	86.39 ± 1.86 ^a	88.33 ± 2.59 ^a	85.76 ± 1.97 ^a	0.6277	<0.0001	0.3347
Textura (Kg_f)	1.50 ± 0.23 ^d	1.75 ± 0.32 ^{cd}	2.70 ± 0.46 ^{abc}	1.69 ± 0.10 ^{cd}	1.74 ± 0.26 ^{cd}	2.92 ± 0.66 ^{ab}	2.04 ± 0.73 ^{cd}	2.42 ± 0.75 ^{abcd}	3.44 ± 0.78 ^a	0.0032	<0.0001	0.9670

EC = factor estrés calórico; TEM = factor tiempo de espera a la matanza; EC x TEM = interacción temperatura con tiempo de espera a la matanza. CRA = Capacidad de retención de agua; RC = Rendimiento en cocción; 2h30 = 2 h de espera a 30°C; 4h30 = 4 h de espera a 30°C; 8h30 = 8 h de espera a 30°C; 2h35 = 2 h de espera a 35°C; 4h35 = 4 h de espera a 35°C; 8h35 = 8 h de espera a 35°C; 2h40 = 2 h de espera a 40°C; 4h40 = 4 h de espera a 40°C; 8h40 = 8 h de espera a 40°C; EC = factor estrés calórico; TEM = factor tiempo de espera a la matanza; EC x TEM = interacción temperatura con tiempo de espera a la matanza.

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

P < 0.05 en EC, TEM y EC x TEM: presentan efecto significativo sobre las variables analizadas.

6.4. Potencial Glucolítico (PG)

El EC y TEM ejercieron un efecto significativo ($P < 0.05$) sobre la concentración de glucógeno en el músculo. En el Cuadro 4, se observó que los tratamientos con diferencia significativa fueron 2h30 y 8h35, en general la concentración de este compuesto no varió para cada tratamiento. De igual manera el EC y el TEM presentaron un efecto significativo ($P < 0.05$) en la concentración de lactato, los tratamientos significativamente diferentes fueron 8h30 y 8h40 con 2h35 y con 4h40. Mientras que el EC y el TEM presentaron un efecto significativo ($P < 0.05$), de manera independiente, en el cálculo para el PG, donde se involucra tanto al glucógeno como al lactato, siendo diferentes los tratamientos 8h30 y 8h40 con 2h35, aunque de manera general se observó una tendencia de incremento de PG al aumentar el tiempo de espera a la matanza.

Después de la matanza, el glucógeno, glucosa y glucosa-6-fosfato son convertidos en lactato; por lo que es de esperarse que una carne PSE (pH bajo) contenga más contenido de lactato. Sin embargo, Van Laack *et al.*, (2000) encontró concentraciones similares de lactato en carne normal y PSE (89 y 87 $\mu\text{mol/g}$ respectivamente). En este estudio, como se observa en la Cuadro 4, las concentraciones de lactato están muy por debajo de una carne normal; lo que hace suponer que la baja concentración de glucógeno (Cuadro 4) detectada no fue suficiente para su transformación en lactato y consecuentemente en ácido láctico; situación que se refleja en un pH alto (Cuadro 3). En este sentido Hambrecht *et al.*, (2004), menciona que el estrés inmediatamente antes de la matanza afecta la calidad de la carne de cerdo, y que esto puede ser atribuido a las alteraciones en la velocidad y el grado de disminución del pH *post-mortem* que a su vez se relacionan con el PG y un aumento inducido de la glucolisis por estrés. Por su parte, Henckel *et al.*, (2002) mencionan que los niveles de glucógeno están relacionados con la calidad de carne sólo si los niveles son extremadamente bajos y/o extremadamente altos; concentraciones bajas en PG pueden ser a causa del agotamiento de la energía en respuesta a eventos exhaustivos antes de la matanza.

Por otro lado, el estrés calórico y tiempo de espera a la matanza, de manera independiente, ejercieron un efecto significativo ($P < 0.05$) sobre la concentración de glucosa en sangre. Aunque se observa una disminución de la concentración de glucosa al transcurrir el tiempo de espera, solo se muestran diferencias significativas entre los pollos sometidos a 2 h a 30°C y 8 h a 35°C con 8 h a 40°C. Mayes, (1996) indica que la glucosa, es una fuente esencial de combustible y sustrato metabólico para definir la calidad de la carne. Freeman *et al.*, 1984; Tejeda *et al.*, 1997 y Zhang *et al.*, 2009, mencionan que las aves en condición de ayuno o transporte, o sufren alguna otra situación de estrés prolongado, utilizan las reservas de glucógeno de los tejidos (glucogenólisis) con lo que aumentan los valores de glucosa en sangre (hiperglucemia). Así, Zhang *et al.*, (2009) encontraron valores de glucosa en sangre de 13.08 y de 11.21 mmol/L en pollo sin estrés y aquellos sometidos a 3 h de transporte y 3 h de espera a la matanza respectivamente. Valores muy por debajo a los encontrados en este estudio, posiblemente ocasionados por la intensidad del estrés al que fueron sometidos los pollos. Mientras que el EC y TEM presentaron un efecto significativo sobre la concentración de lactato en sangre donde los pollos sometidos a 8 h con 35°C fueron diferentes con aquellos expuestos a 2 y 4 h a 35 y 40°C respectivamente (Cuadro 5). Zhang *et al.*, (2009) encontraron valores similares de lactato en sangre en pollos sin estrés (4.27 mmol/L) a aquellos sometidos a estrés por transporte en combinación con tiempo de espera a la matanza. Valores por arriba a lo encontrado en este estudio, posiblemente ocasionados de igual manera que en glucosa por la intensidad del estrés al que fueron sometidos los pollos.

Cuadro 4. Efecto del estrés calórico (EC) y tiempo de espera a la matanza (TEM) sobre el potencial glucolítico en músculo *Pectoralis major* a las 24 h *post-mortem*.

Variable	Tratamientos									P-value		
	2h30	4h30	8h30	2h35	4h35	8h35	2h40	4h40	8h40	EC	TEM	EC x TEM
Glucógeno μmol/g	2.90 ± 0.49 ^b	3.45 ± 0.12 ^{ab}	3.55 ± 0.29 ^{ab}	2.99 ± 0.31 ^{ab}	2.95 ± 0.34 ^{ab}	3.88 ± 0.11 ^a	3.78 ± 0.13 ^{ab}	3.78 ± 0.02 ^{ab}	3.49 ± 0.22 ^{ab}	0.011	0.0297	0.0069
Lactato μmol/g	34.24 ± 3.10 ^{bc}	36.10 ± 1.09 ^{bc}	43.20 ± 1.56 ^a	32.21 ± 0.97 ^c	33.37 ± 1.27 ^{bc}	35.35 ± 1.43 ^{bc}	35.05 ± 1.80 ^{bc}	37.47 ± 1.36 ^b	47.72 ± 0.21 ^a	<0.0001	<0.0001	0.0013
PG* μmol/g	40.05 ± 3.54 ^{cd}	43.01 ± 0.98 ^{cb}	50.46 ± 1.28 ^a	38.51 ± 0.56 ^d	39.29 ± 1.95 ^{cd}	44.27 ± 0.01 ^{cd}	42.61 ± 1.62 ^{cd}	45.04 ± 1.31 ^{cb}	54.71 ± 0.47 ^a	<0.0001	<0.0001	0.2185

PG = Potencial glucolítico PG= 2 * Glucógeno + Lactato.

Cuadro 5. Efecto del estrés calórico (EC) y tiempo de espera a la matanza (TEM) sobre metabolitos en sangre.

Variable	Tratamientos									P-value		
	2h30	4h30	8h30	2h35	4h35	8h35	2h40	4h40	8h40	EC	TEM	EC x TEM
Glucosa mmol/L	37.20 ± 0.95 ^a	29.79 ± 0.52 ^{ab}	29.59 ± 5.03 ^{ab}	34.47 ± 4.91 ^a	33.64 ± 4.65 ^{ab}	27.24 ± 2.97 ^a	28.02 ± 2.94 ^{ab}	28.99 ± 0.84 ^{ab}	23.07 ± 3.06 ^b	0.0078	0.0040	0.3193
Lactato mmol/L	1.83 ± 0.06 ^{ab}	1.46 ± 0.02 ^{bc}	1.56 ± 0.31 ^{bc}	2.17 ± 0.16 ^a	1.58 ± 0.21 ^{bc}	1.31 ± 0.04 ^c	1.78 ± 0.03 ^{ab}	2.06 ± 0.10 ^a	1.67 ± 0.14 ^{cb}	0.0086	<0.0001	<0.0001

EC = factor estrés calórico; TEM = factor tiempo de espera a la matanza; EC x TEM = interacción temperatura con tiempo de espera a la matanza.

2h30 = 2 h de espera a 30°C; 4h30 = 4 h de espera a 30°C; 8h30 = 8 h de espera a 30°C; 2h35 = 2 h de espera a 35°C; 4h35 = 4 h de espera a 35°C, 8h35 = 8 h de espera a 35°C; 2h40 = 2 h de espera a 40°C; 4h40 = 4 h de espera a 40°C; 8h40 = 8 h de espera a 40°C; a, b, c, d: Medias con literales distintas en cada hilera son estadísticamente diferentes (P < 0.05).

P < 0.05 en EC, TEM y EC x TEM: presentan efecto significativo sobre las variables analizadas.

VIII. CONCLUSIONES

- El presente estudio mostró que el estrés calórico y el tiempo de espera a la matanza tuvieron un impacto en los parámetros productivos, al disminuir el peso vivo y el rendimiento de la canal; en calidad se encontraron valores de pH altos y luminosidad (L*) bajos; en propiedades funcionales aumento la capacidad de retención de agua y la fuerza de corte, no así el contenido de proteína y rendimiento de cocción, que se mantuvieron constantes.
- Los niveles de estrés calórico y el tiempo de espera a la matanza evaluados causaron una disminución importante del glucógeno en el músculo *Pectoralis major*, demostrado por los niveles bajos de potencial glucolítico encontrados; mientras que en plasma sanguíneo los niveles de glucosa fueron altos y bajos para lactato, primordialmente debido a la degradación del glucógeno en el hígado antes de la matanza y durante el desangrado.

Estas conclusiones responden a la hipótesis planteada en este estudio; que el estrés *ante-mortem* (EC y TEM) afectan la calidad de la carne para consumo en fresco, obteniendo una carne cercana a la condición OFS; poco atractiva y apetecible para el consumidor, aunque puede destinarse a ser utilizada en la elaboración de productos cárnicos del tipo emulsión cárnica (mortadelas y salchichas) y algunos jamones cocidos si lo que se busca es alargar la vida de anaquel de ésta. Por lo anterior, se resalta la importancia en la región el delimitar los niveles de estrés antes de la matanza, en el sentido de reducir pérdidas económicas e incrementar el bienestar animal.

IX. LITERATURA CITADA

- 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. *Poultry Science*, 76:1042–1046.
- Andújar, G., D. Pérez and O. Venegas. 2003. Los cambios *post-mortem* y la transformación del músculo en carne. En: *Química y bioquímica de la carne y los productos cárnicos*. 125 p. Instituto de Investigaciones para la industria alimentaria. Editorial Universitaria. La Habana, Cuba.
- Andersen, H. J., Oksbjerg, N., Young, J. F. and M. Therkildsen. 2005. Feeding and meat quality- a future approach. *Meat Science*, 70:543-554.
- Appleby, M. C., J. A. Mench and B. O. Hughes. 2004. Physical aspects. In: *Poultry Behaviour and Welfare*. Ed. CABI Publishing. London.
- Aksit, M., S. Yalcın, S. Özkan, K. Metin, and D. Özdemir. 2006. Effects of temperature during rearing and crating on stress parameters and meat quality of broilers. *Poultry Science*, 85:1867–1874.
- Arenas, M. L., A. Vidal, D. Huerta-Sánchez y Y. Novas. 2000. Análisis comparativo proximal y de minerales entre carnes de iguana, pollo y res. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50(4):409-415.
- Bautista, M. Y. 2013. Efecto de estrés ante-mortem en características bioquímicas que afectan la calidad de carne de pollo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. México.
- Barbut, S. 1993. Colour measurements for evaluating the pale soft exudative (PSE) occurrence in turkey meat. *Food Research International*. 26:39-43.
- 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. *Poultry Science*, 84:797–802.
- Bendall, J. R. 1973. Postmortem changes in muscle. In: G. H. Bourne (Ed.), *Structure and function of muscle*. 2:243–309.
- Bendall, J. R. and H. C. J. Swatland. 1988. Review of the relationships of pH with physical aspects of pork quality. *Meat Science*, 24:85–126.

- Berg, E. P. and G. L. Allee. 2001. Creatine monohydrate supplemented in swine finishing diets and fresh pork quality: I. A controlled laboratory experiment. *Animal Science*, 79:3075–3080.
- Berri, C., N. Wacrenier, N. Millet, and E. L. Bihan-Duval. 2001. Effect of selection for improved body composition on muscle and meat characteristics of broilers from experimental and commercial lines. *Poultry Science*, 80:833-838.
- Bidner, B. S., M. Ellis, D. P. Witte, S. N. Carr and F. K. McKeith. 2004. Influence of dietary lysine level, pre-slaughter fasting, and rendement napole genotype on fresh pork quality. *Meat Science*, 68:53-60.
- Bianchi, M., M. Petracci, F. Sirri, E. Folegatti, A. Franchini and A. Meluzzi. 2007. The influence of the season and market class of broiler chickens on breast meat quality traits. *Poultry Science*, 86:959-963.
- Bodwell, C. E., A. M. Pearson and M. E. Spooner. 1965. *Post-mortem* changes in muscle. I. Chemical changes in beef. *Journal of Food Science*, 30: 766-780.
- Boulianne, M. and J. King. 1998. Meat color and biochemical characteristics of unacceptable dark-colored broiler chicken carcasses. *Journal of Food Science*, 63(5): 1-4.
- Castañeda, M. y M. Rubio. 2010. Estrés *ante-mortem* y alteraciones de la carne de aves. En: Bienestar animal y calidad de la carne. Eds. D. Mota, I. Guerrero y M. Trujillo. B.M. Editores. México.
- 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. *Poultry Science*, 84: 113-118.
- Cepero, R. 2000. Problemas de la calidad de la canal de pollo. Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos. Ed. Zaragoza. 56 p.
- Dalrymple, R. H. and R. Hamm. 1973. A method for the extraction of glycogen and metabolites from a single muscle sample. *Food Technology*, 8:439-444.

- Delezie, E., Q. Swennen, J. Buyse, and E. Decuyper. 2007. The effect of feed withdrawal and crating density in transit on metabolism and meat quality of broilers at slaughter weight. *Poultry Science*, 86:1414-1423.
- Dransfield, E. 1994. Tenderness of meat, poultry and fish. *Advances in Meat Research* 9:289-315.
- Duncan, I. J., G. S., Slee, P. Kettlewell, P. Berry and A. J. Carlisle. 1986. Comparison of the stressfulness of harvesting broiler chickens by machine and by hand. *British Poultry Science*, 27: 109-114.
- Estrada, M. M. y S. M. Márquez. 2005. Interacción de los factores ambientales con la respuesta del comportamiento productivo en pollo de engorde. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18:3:246-257.
- Fletcher, D. L., 1999. Color variation in commercially packaged broiler breast fillets. *Journal of Applied Poultry Research*, 8:67-69.
- Forrest, J. C., E. D. Aberle, H. D. Hedrich, M. D. Hudge, y R. A. Merkel. 2001. *Fundamentos de la ciencia de la carne*. 2da Ed. Zaragoza, España. 365 p.
- Freeman, B. M., P. J. Kettlewell, A. C. C. Manning and P. S. Berri. 1984. Stress of transport for broilers. *Vet. Rec*, 114:286-287.
- Froning, G. W., A. S. Babji and F. B. Mather. 1978. The effect of preslaughter temperature, stress, struggle and anesthetization on color and textural characteristic of turkey muscle. *Poultry Science*, 57:630-633.
- Gallo, C. 2010. Alteraciones de pH, color y capacidad de retención de agua en carne. En: *Bienestar animal y calidad de la carne*. D. Mota, I. Guerrero y M. Trujillo Eds. B.M. Editores. México.
- García, M. E. 1989. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. 3ra edición. México, D. F. Instituto de Geografía. 146 p.
- Girolami, A., F. Napolitano, D. Faraone and A. Braghieri. 2012. Measurement of meat color using a computer vision system. *Meat Science*, 93:111-118.
- Greaser, M. I. 1986. Conversion of muscle to meat. In: *Muscle as Food*. Ed. P. J. Bechrel. Academic Press, Orlando, FL, USA. 37-102 pp.

- Guerrero, L. I., A. E. Ponce y M. L. Pérez. 2002. Curso práctico de tecnología de carnes y pescado. Universidad Metropolitana Unidad Iztapalapa. D. F., México. 171 p.
- Hamm, R. 1960. Biochemistry of meat hydration. *Advances in Food Research*, 10, 355.
- Hambrecht, E., J. J. Eissen, RIJ Nooijen, B. J. Ducro, C. H. M. Smits, I. A. den Hartog and M. W. A. Verstegen. 2004. Preslaughter stress and muscle energy largely determine pork quality at two commercial processing plants. *Journal of Animal Science*, 82:1401-1409.
- Hambrecht, E., J. J. Eissen, D. J. Newman, C. H. M. Smits and L. A. den Hartog. 2005. Preslaughter handling effects on pork quality and glycolytic potential in two muscles differing in fiber type composition. *Journal of Animal Science*, 83:900–907.
- Hatcher, D. W., S. J. Symons and U. Manivannan. 2004. Developments in the use of image analysis for the assessment of oriental noodle appearance and color. *Journal of Food Engineering*, 61:109–117.
- Hernández-Cázares, A. S. 2010. Control de calidad y seguridad de la carne y productos cárnicos curados mediante el uso de sensores enzimáticos. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Henckel P., A. Karlsson, M. T. Jensen, N. Oksbjerg and J. S. Petersen. 2002. Metabolic conditions in porcine *longissimus* muscle immediately pre-slaughter and its influence on peri- and post mortem energy metabolism. *Meat Science*, 62:145–155.
- Holm, C. G. P. and D. L. Fletcher. 1997. Ante-mortem holding temperatures and broiler breast meat quality. *Journal of Applied Poultry Research*, 6:180-184.
- Horstein, I., P. E. Crowe and M. J. Heinberg. 1961. Fatty acids composition of meat tissue lipids. *Journal of Food Science*, 25:581-585.
- Hui, H., I. Guerrero y M. Rosmini. 2010. Ciencia y tecnología de carnes. Limusa. México.
- Immonen, K., M. Ruusunen and E. Puolanne. 2000. Some effects of residual glycogen concentration of the physical and sensory quality of normal pH beef. *Meat Science*, 5: 33-38.

- Kannan, G., J. L. Heath, C. J. Wabeck, M. C. P. Souza, J. C. Howe and J. A. Mench. 1997. Effects of crating and transport on stress and meat quality characteristics in broilers. *Poultry Science*, 76:523-529.
- Kaneko, J.J. 1997. Carbohydrate metabolism and its diseases. In: *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. Kaneko, J.J., J.W. Harvey and M.L. Eds. Academic Press Inc. San Diego, USA.
- Kauffman, R. G., R. G. Cassens, A. Sherer and D. L. Meeker. 1992. Variations in pork quality. NPPC Publication, Des Moines, USA. 1-8 pp.
- Kauffman, R. G. 2002. Meat composition. En: *Meat Science and Applications*. Y. Hui, R. Shorthose, O. Young, M. Koohmaraie y P. Rogers (Eds.) Marcel Dekker. Nueva York.
- Keppler, D. and K. Decker. 1970. Glycogen. Determination with amyloglucosidase. In: *Methods in enzymatic analysis*, Vol. II (Ed. By H. U. Bergmeyer). 1127-1131 pp.
- Kite, V. G. and I. J. H Duncan. 1998. Some studies of the stressfulness of harvesting and transporting broilers. Pp. 35-41, in: *Proc. 7th Australian Poultry and feed convention*. Sydney, Australia.
- Kress-Rogers, E., E. J. D'Costa, J. E. Sollars, P. A. Gibbs, and A. P. F. Turner, 1993. Measurement of meat freshness in situ with a biosensor array. *Food Control*, 4:149-154.
- Lawrie, R. A. 1985. *Meat Science*. Pergamon Press Ltd. Headington Hill, London.
- Lambooi, E, 1999. Handling of poultry before slaughter, some aspects of welfare and meat quality. In: *Proceedings of the XIV European Symposium of the quality of poultry meat*. Bologna, Italy. 311-313 pp.
- Lee, L.H, Santé-Lhoutellier, S. Vogouroux, Y. Briand and M. Briand. 2008. Role of calpains in postmortem proteolysis in chicken muscle. *Poultry Science*, 87:2126-2132.
- Lehninger, A.L., D.L Nelson and M. M. Cox. 2001. *Principles of Biochemistry*. 4a Ed. New York.
- Lu, Q., J. Wen, and H. Zhang. 2007. Effect of chronic heat on fat deposition and meat quality in two genetic types of chicken. *Poultry Science*, 86:1059-1064.

- Mach, N., A. Bach, A. Velarde and M. Devant. 2008. Association between animal, transportation, slaughterhouse practices, and meat pH in beef. *Meat Science*, 8:232-238.
- Mancini, R. and M. Hunt. 2005. Current Research in meat color. *Meat Science*, 71:101-121.
- Mayes, P. A. 1996. Gluconeogenesis and control of blood glucose. In: Harper's biochemistry. 24th Ed. R.K. Murray, D.K. Granner, P. A. Mayes and V. W. Rodwell. Ed. Appleton and Lange, Stamford, C. T. 153-162 pp.
- Meadus, W. J. and R. MacInnis. 2000. Testing for the RN-gene in retail pork chops. *Meat Science*, 54:231-237.
- 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. *Poultry Science*, 76:1616-1620.
- 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 farm animals. *Journal of Animal Science*, 72:1891-1898.
- Mitchell, M. A. and P. J. Kettlewell. 1998. Physiological stress and welfare of broiler chickens in transit: solutions not problems. *Poultry Science*, 79:430-435.
- Monin, G., A. Mejenes-Quijano, A. Talmant and P. Sellier. Influence of breed and muscle metabolic type glycolityc potential and meat pH in pigs. *Meat Science*, 20:149-158.
- Monin, G. and P. Sellier. 1985. Pork of low technological quality with a normal rate of muscle pH fall in the immediate *post-mortem* period: the case of the Hampshire breed. *Meat Science*, 13: 49-66.
- Murray, R. K. 1997. Músculo. En *Bioquímica de Harper*. R.K Murria, D. K. Granner, P. A. Mayes, V. W. Rodwell (Eds.). El manual moderno D. F.
- Nelson L. D. y M. M. Cox. 2001. *Lenhinger principles of Biochemistry*. 4ta Ed. New York.

- Nijdam, E., E. Delezie, E. Lambooi, M. J. A. Nabuurs, E. Decuypere and J. A. Stegeman. 2005. Feed withdrawal of broilers before transport changes plasma hormone and metabolite concentrations. *Poultry Science*, 84:1146-1152.
- Owens, C. M y A. R. Sams. 2000. The Influence of transportation on turkey meat quality. *Poultry Science*, 79: 1204–1207.
- Offer, G. 1991. Modelling of the formation of pale, soft and exudative meat: effect of chilling regime and rate and extent of glycolysis. *Meat Science*, 30:157–184.
- Offer, G., P. Knight, R. Jeacocke, R. Almond, T. Cousins and J. Elsey. 1989. The structural basis of the water-holding, appearance and toughness of meat and meat-products. *Food Microstructure*, 8: 151–170.
- Offer, G. and T. Cousins. 1992. The mechanism of drip production: formation of two compartments of extracellular space in muscle post mortem. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 58:107–116.
- Owens, C. M, and A. R. Sams. 2000. The Influence of Transportation on Turkey Meat Quality. *Poultry Science*, 79:1204–1207.
- Papadakis, S. E., Abdul-Malek, S., Kamdem, R. E., and Yam, K. L. 2000. A versatile and inexpensive technique for measuring color of foods. *Food Technology*, 5:48–51.
- Pérez, L., I. Guerrero y E. Ponce. 2000. Estructura del músculo y conversión en carne. En *Nuevas tendencias de tecnología e higiene de la industria cárnica*. M. Rosmini, J. A. Pérez y J. Fernández (Eds.). Universidad Miguel Hernández, Orihuela, España.
- Ponce, E. 2010. Cambios bioquímicos *pre y post-mortem*. En: *Ciencia y tecnología de carnes*. Hui, H., I. Guerrero y M. Rosmini. 2010. Limusa . México.
- Prince, J. L. y B. S. Schweigert. 1994. *Ciencia de la carne y los productos cárnicos*. Acribia, Zaragoza, España.
- Qiao, M., D. L. Fletcher, D. P. Smith and J. K. Northcutt. 2001. The effect of broiler breast meat color and pH, moisture, water-holding capacity, and emulsification capacity. *Poultry Science*, 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. *Poultry Science*, 81: 422–427.

- Rastogui, S. C. 2007. *Essentials of animal physiology*. New age international (P) limited, Publishers. New Delhi. 280 pp.
- Richardson, R. I. y G. C. Mead. *Ciencia de la carne de ave*. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España.
- Rosmini M. R. y M. L. Signorini. En: *Ciencia y tecnología de carnes*. Hui, H., I. Guerrero y M. Rosmini. 2010. Limusa. México.
- Sams, A. R. 1999. Meat quality during processing. *Poultry Science*, 78:798–803.
- Sandercock, D. A., R. R. Hunter, G. R. Nute, M. A. Mitchell and P. M. Hocking. 2001. Acute stress-induced alterations in blood acid-base status and skeletal muscle membrane integrity in broiler chickens at two ages: implications for meat quality. *Poultry Science*, 80:418-425.
- 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 meat quality. *Poultry Science*, 91:468-477.
- Schilling, M. W., J. K. Schilling, J. R. Claus, N. G. Marriot, S. E. Duncan and H. Wang. 2003. Instrumental texture assessment and consumer acceptability of cooked broiler breasts evaluated using a geometrically uniform-shaped. *Journal of Muscle foods*, 14:11-23.
- Smith, C. E. Lyon and B. G. Lyon. 2002. The effect of age, dietary carbohydrate source and feed withdrawal on broiler breast fillet color. *Poultry Science*, 81:1584-1588.
- Tejeda, G. V. R., V. D. Braña, C. C. Rosario y S. M. P. Castañeda. 2014. Evaluación de dos factores que intervienen en la calidad de la carne de pollo: sistemas de captura y programas de restricción alimentaria. *Memorias X Simposium de Procesamiento e Inocuidad de Productos Avícolas*. ANECA. Querétaro, México.
- Tejeda, P. A., I. G. Téllez y M. F. Galindo. 1997. Técnicas de medición de estrés en aves. *Revista Veterinaria México*, 28(4):345-341.
- Terlow, C. 2005. Stress reactions at slaughter and meat quality in pigs: genetic background and prior experience a brief review of recent findings. *Livestock Production Science* 94: 125–135.

- Toldrá, F. 2006. Meat: Chemistry and Biochemistry. In: Handbook of Food Science, Technology and Engineering. Ed Y. H., Hui. CRC Press, Boca Ratón, FL, USA. 18-28 pp.
- Toldrá, F. 2008. Biotechnology of flavour generation in fermented meats. In: Meat Biotechnology. Ed. F. Toldrá. Chapter 9. Springer Science and Business Media. Spring street, New York, NY, USA. 199-215 pp.
- Troeger, K. 1996. Transportation of slaughter animal. Treatment during transport and its consequences for product quality. *Fleischwirtschaft International*, 1:2-4.
- Unión Nacional de Avicultores (UNA). 2013. Indicadores económicos. Consultado el día 29 de marzo de 2013. [en línea <http://una.org.mx/2013/53-compendio-de-indicadores-economicos-2013.html>].
- Van Laack, R. L., JM Liu, M. O. Smith and H. D. Loveday. 2000. Characteristics of pale, soft and exudative chicken meat in commercial plant. *Poultry Science*, 79:1057-1061.
- Von Borell, E. H. 2001. The biology of stress and its application to livestock housing and transportation assessment: *Journal of Animal Science*, 79:260-267.
- 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.
- Watanabe, A., C. C. Daly and C.E. Devine. 1996. The effects of the ultimate pH of meat on tenderness changes during ageing. *Meat Science*, 42:67-78.
- Woelfel, R. L., and A. R. Sams. 2001. Marination performance of pale broiler breast meat. *Poultry Science*, 80:1519-1522.
- 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. *Poultry Science*, 81: 579–584.
- Wood, D. G. and J. F. Richards. 1975. Effect of some ante-mortem stressors of post-mortem aspects of chicken broiler pectoralis muscle. *Poultry Science*, 54:528-531.

- Xu, L. Zhang , H. Y. Yue , S. G. Wu , H. J. Zhang , F. Ji and G. H. Qi. 2011. Effect of electrical stunning current and frequency on meat quality, plasma parameters, and glycolytic potential in broilers. *Poultry Science*, 90: 1823–1830.
- 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. *Poultry Science*, 89: 413–419.
- Vargas, M. R., V. F. C. Moreno y F. E., Amparo. 2005. Evaluación del efecto el tiempo de transporte sobre la pérdida de peso de pollos de engorde de dos líneas comerciales. *Revista de Medicina Veterinaria*, 10:77-94.
- Zhang, L., H. Y. Yue, H. J. Zhang, L. Xu, S. G. Wu, H. J. Yan, Y. S. Gong and G. H. Qi. 2009. Transport stress in broilers: I. Blood metabolism, glycolytic potential, and meat quality. *Poultry Science*, 88: 2033–2041.