



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**Facultad de Estudios Superiores
Cuautitlán**

**“Evaluación del pH, capacidad de retención de agua,
color y dureza en el músculo *longissimus dorsi*
de conejo en su transformación en carne”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
INGENIERA EN ALIMENTOS
P R E S E N T A :
MARTHA JOCELYN DE LA CRUZ LIMAS

Asesores:

Dra. Adriana Llorente Bousquets

M. en P. Jorge Luis Rico Pérez



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: L. A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis :

Evaluación del pH, capacidad de retención de agua, color
y dureza en el músculo longissimus dorsi de conejo en su
transformación en carne.

que presenta la pasante: Martha Jocelyn De La Cruz Limas
con número de cuenta: 405063305 para obtener el título de :
Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 25 de Enero de 2011

PRESIDENTE Dr. Francisco Montiel Sosa
VOCAL Dra. Adriana Llorente Bousquets
SECRETARIO MC. Rosalía Meléndez Pérez
PRIMER SUPLENTE IBQ. Leticia Figueroa Villarreal
SEGUNDO SUPLENTE MC. María Guadalupe Amaya León

El presente trabajo fue realizado en el laboratorio 7 de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria de la FESC, como parte del Taller de Procesos Tecnológicos de Productos Cárnicos de Ingeniería en Alimentos.

Agradecimiento a los Proyectos PAPIME de la UNAM PE202010 y PE202210

AGRADECIMIENTOS

A la M. en C.V. Patricia Mora Medina Jefa del Centro de Enseñanza Agropecuaria de la FESC, por la ayuda otorgada, así como al módulo de conejos, en particular, para la Dra. Magdalena Zamora Fonseca y a la M.V.Z Gisela, quienes aportaron la materia prima para la realización de este proyecto.

Al Taller de Carnes, especialmente al M. en C. Salvador Flores Peinado y M.V.Z. Andrés Cardona Leija, por su disposición y apoyo para la realización de esta investigación.

A la M. en A. Zaira Berenice Guadarrama Álvarez por la dedicación y apoyo otorgado durante la fase experimental de este proyecto, quien además, fue un factor importante y enriquecedor de mi desarrollo como estudiante y que estará presente en cada momento de mi vida. Maestra, mil gracias por todo.

A los docentes del Taller de Procesos Tecnológicos de Productos Cárnicos, la Dra. Adriana Llorente Bousquets, quien con mucho cariño me guió, enseñó y motivó durante todo este proceso; al Mtro. Jorge Rico Pérez, quien con paciencia y tolerancia me regaló su conocimiento; al Mtro. Jorge López Pérez, por todo el tiempo invertido y a la I. A. Aura Guadalupe Alvarado Camacho, quien siempre estuvo dispuesta a apoyarme sin importar el esfuerzo y/o el tiempo que requiriera la situación, escuchándome y alentándome para que no me rindiera. A todos ustedes, gracias, sin su ayuda jamás lo habría logrado.

A los miembros del H. Jurado, por el tiempo invertido en la revisión de este proyecto. Mi más profundo reconocimiento.

Y no puedo olvidar y mostrar un gran agradecimiento a los “29s”: Rosa, Neme, Lin, Karla, Violet, Yeco, Adri, Iván, David, Mario, Blanco, Claus Granados, Carmen, Irene, Virip, Kika, Claus, Bere, Magali, Cris, a mi equipo cucharero (Aurock, Belemo y Maire). Gracias por permitirme conocerlos, por sus ocurrencias, no saben cuánto disfruté su compañía, por su colaboración y solidaridad, cambiaron momentos de estrés por infinita alegría. Gracias por que cada uno de ustedes compartieron la carga que representó cada una de las sesiones dentro del aula, todo lo hicieron más fácil. Todos ustedes han dejado una huella en mi corazón que jamás podrá borrarse. Nuevamente mil gracias.

DEDICATORIAS

A José Luis y Guadalupe:

Mis Padres, esas maravillosas personas que siempre han confiado en mí, que me aman y respetan en todo momento. Las personas que me regalaron la vida, que se empeñaron en que conociera lo hermoso de cada día, que me dejaron volar, aunque les hubiera gustado hacerlo por mí... Mil gracias por el amor, por el ejemplo, por la confianza, por la paciencia, por la comprensión, por el apoyo, por todos los sacrificios que sé que la realización de este sueño les ocasionó, pero sobre todo GRACIAS por formarme, por hacer de mí, la mujer que ahora soy.

Los respeto, los admiro y los amo

A Mario Sánchez y Carmen Meyo:

Mis tíos, esas grandes personas que me abrieron las puertas de su casa y me trataron como a una hija aún sin conocerme. Gracias, por toda la confianza, por todo lo que me dieron sin esperar nada a cambio, por todo el sacrificio, GRACIAS, sin su ayuda jamás habría cumplido este sueño.

Se los agradezco de todo corazón

Su hija, **Joce**

INDICE GENERAL

	Pagina
ÍNDICE DE FIGURAS.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	4
Resumen.....	5
Introducción.....	6
1. Marco de referencia.....	7
1.1. Estructura del músculo.....	8
1.2. Mecanismo de contracción y relajación del músculo.....	11
1.3. Calidad de la carne.....	12
1.3.1. Parámetros de calidad.....	12
1.3.1.1. Nutrimientales.....	12
1.3.1.2. Microbiológicos.....	13
1.3.1.3. Sensoriales.....	13
1.3.1.4. Olor y sabor.....	13
1.3.1.5. Color.....	14
1.3.1.6. Textura.....	17
1.3.1.7. Tecnológicos.....	19
1.3.1.7.1. pH.....	19
1.3.1.7.2. Capacidad de retención de agua.....	21
1.4. Factores que afectan la calidad.....	22
1.4.1. Manejo ante mortem.....	22
1.4.1.1. Factores ambientales.....	23
1.4.1.1.1. Temperatura.....	23
1.4.1.1.2. Humedad.....	24
1.4.1.1.3. Luz, ruido y espacio.....	24
1.4.1.2. Factores biológicos.....	24
1.4.1.2.1. Edad y peso de sacrificio.....	24
1.4.1.2.2. Genética.....	25
1.4.1.3. Factores tecnológicos.....	25
1.4.1.3.1. Transporte.....	25
1.4.1.3.2. Estrés.....	26
1.4.2. Método de insensibilización y sacrificio.....	27
1.4.3. Manejo Post mortem.....	28

1.4.3.1. Transformación de músculo en carne.....	28
1.4.3.1.1. Pre rigor.....	28
1.4.3.1.2. Rigor mortis.....	29
1.4.3.1.3. Etapa de maduración.....	30
2. Metodología experimental.....	34
2.1. Actividades Preliminares.....	35
2.1.1. Caracterización de los conejos.....	36
2.1.2. Sacrificio del conejo.....	36
2.1.3. Disección del músculo longissimus dorsi.....	39
2.1.4. Distribución de los lotes.....	40
2.2. Análisis realizado en la carne.....	41
2.2.1. pH.....	41
2.2.2. Capacidad de retención de agua.....	42
2.2.3. Color.....	42
2.2.4. Dureza.....	43
2.2.5. Actividad de agua.....	43
2.3. Análisis estadístico.....	43
2.3.1. pH.....	44
2.3.2. Capacidad de retención de agua.....	45
2.3.3. Color.....	46
2.3.4. Actividad de agua.....	47
3. Análisis de resultados y Discusión.....	48
3.1. pH.....	49
3.2. Capacidad de retención de agua.....	50
3.3. Color.....	52
3.4. Dureza.....	53
3.5. Actividad de agua.....	54
CONCLUSIONES.....	55
RECOMENDACIONES.....	56
LITERATURA CITADA.....	57
ANEXOS.....	61
Esquemas de las rutas metabólicas.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Organización del músculo esquelético.....	8
Figura 2. Estructura de la miofibrilla.....	9
Figura 3. Organización general del músculo estriado.....	10
Figura 4. Contracción muscular.....	11
Figura 5 Estructura de la molécula de mioglobina.....	15
Figura 6. Principales cambios de la transformación del músculo en carne.....	31
Figura 7. Diseño experimental.....	35
Figura 8. Sacrificio de los conejos.....	36
Figura 9. Insensibilización mediante el método de dislocación de cervicales.....	37
Figura 10. Colocación en el arnés.....	37
Figura 11. Corte a nivel de vértebras cervicales.....	38
Figura 12. Desangrado del conejo.....	38
Figura 13. Faeneado.....	39
Figura 14. Eviscerado.....	39
Figura 15. Canal del conejo.....	40
Figura 16. Disección del músculo longissimus dorsi.....	40
Figura 17. Músculo longissimus dorsi diseccionado.....	40
Figura 18. Variación del pH durante las primeras 48 h post sacrificio.....	49
Figura 19. Variación de la CRA durante las primeras 48 h post sacrificio.....	51
Figura 20. Variación de L durante las primeras 48 h post sacrificio.....	52
Figura 21. Variación de dureza durante las primeras 48 h post sacrificio.....	53
Figura 22. Variación de la Aw durante las primeras 48 h post sacrificio.....	54
Figura 23. Diagrama de la glucólisis.....	61
Figura 24. Etapas de la gluconeogénesis.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Composición química de la carne de diferentes especies.....	13
Tabla 2. Color de la carne de acuerdo con el estado de la mioglobina.....	16
Tabla 3. Distribución de los lotes a evaluar.....	41
Tabla 4. Media y desviación estándar del pH.....	44
Tabla 5. ANOVA pH versus tiempo.....	44
Tabla 6 Media y desviación estándar de la capacidad de retención de agua.....	45
Tabla 7. ANOVA capacidad de retención de agua versus tiempo.....	45
Tabla 8. Media y desviación estándar del color.....	46
Tabla 9. ANOVA color versus tiempo.....	46
Tabla 10. Media y desviación estándar del actividad de agua.....	47
Tabla 11. ANOVA actividad de agua versus tiempo.....	47

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar el pH, la capacidad de retención de agua, el color y la dureza en el músculo *longissimus dorsi* de conejo de la Línea FESC. Se seleccionaron 15 conejos machos de la Línea FES, de 70 días de edad, los cuáles fueron insensibilizados mediante dislocación de vértebras cervicales, y sacrificados por degüello de acuerdo con la norma NOM-033-ZOO-1995, Posteriormente fueron eviscerados y sus canales fueron clasificadas en 3 lotes de 5 conejos, cada uno y almacenadas a 4 °C. Las canales se diseccionaron con el fin de extraer el músculo *longissimus dorsi* (LD), al cual se le evaluó el pH, la capacidad de retención de agua (CRA), el color y la dureza. El pH fue determinado haciendo una incisión de 3 mm de profundidad en la 5ª vértebra lumbar usando un potenciómetro de penetración (González-Redondo *et al.*, 2007). La Capacidad de retención de agua fue determinada mediante el método de la centrifugación (Guerrero *et. al.*, 2002). El color fue determinado en la superficie del músculo, a nivel de la 4ª vértebra lumbar, mediante un colorímetro Minolta Modelo CR-300 (Pascual *et al.*, 2008). La dureza fue determinada mediante un texturómetro Instron Modelo 4411. Los análisis se realizados a las 0, 3, 6, 24 y 48 horas después del sacrificio.

Introducción

Actualmente la mayor producción de carne de conejo en México, se da en pequeña escala y poco tecnificada; lo cual genera que la carne de dicha especie sea diversa en cuanto a sus parámetros de calidad, la cual depende de diferentes factores del manejo *ante mortem*, sumado a una gran variedad de factores *post mortem*, que implican una serie de cambios físicos y químicos durante la transformación del músculo en carne (Guerrero, 2007; Sañudo, 1992).

En el manejo *ante mortem* influyen factores intrínsecos tales como la raza, el sexo, la alimentación, entre otros, así como distintas condiciones ambientales y la técnica de sacrificio. En lo que respecta a la etapa del *post mortem*, se observan dos procesos que son el *rigor mortis* y el ablandamiento; en estos se producen modificaciones que surgen durante la transformación de músculo en carne, mismas que son atribuidas a la velocidad de descenso de pH, velocidad de enfriamiento y la higiene desarrollada durante su manejo. La velocidad y el grado de descenso del pH, tienen especial influencia sobre las propiedades de la carne, debido a que dicho factor determina entre otros aspectos la capacidad de retención de agua, el color, la dureza y el sabor de la carne (Carballo *et al.*, 2001; Llorente, 1997; Ralston, 1992).

Sin duda, al momento de la compra, la presentación en general, y el color en particular, son los atributos más importantes en decidir las preferencias del consumidor. Una vez hecha la elección, la dureza y jugosidad de la carne son atributos que determinan la decisión de repetir, o no, la adquisición del producto elegido (Huerta *et al.*, 1997).

El presente trabajo consistió en confirmar, por una parte, lo antes referido, así como evaluar el pH, la capacidad de retención de agua, el color y la dureza durante la transformación del músculo en carne de conejo.

1. Marco de referencia

1.1. Estructura del músculo

El tejido muscular de los animales se divide en tres categorías a saber: músculo liso, cardíaco y esquelético. El músculo liso presenta un funcionamiento involuntario y se encuentra localizado en los sistemas gastrointestinales, cardiovascular y en el aparato respiratorio, formando partes de las paredes de vasos sanguíneos. El músculo cardíaco se localiza en el corazón y en la raíz de los vasos sanguíneos que se unen a este órgano, siendo involuntario y estriado. Por su parte, el músculo esquelético actúa bajo control nervioso voluntario y su principal función es la de transformar la energía química presente en energía mecánica. Este último es, por cierto, el principal componente de la carne, por lo cual se requiere conocer en detalle, tanto su estructura, como su funcionamiento, si se quiere comprender mejor los cambios que tienen lugar durante la transformación del músculo en carne (Flores y Bemell, 1983; Forrest, 1979; Hui, 2006; Latorre, *et. al.*, 1996; Ranken, 2003).

La figura 1 muestra como está organizado el músculo esquelético, como se puede apreciar está rodeado globalmente por una lámina envolvente de tejido conectivo, denominada *epimisio*. A partir de la superficie interna de éste penetran en el músculo septos (también de tejido conectivo) que separan las fibras musculares en haces de fibras, los cuales constituyen lo que se conoce como *perimisio*. En este se encuentran los vasos sanguíneos de mayor tamaño y los nervios. Desde la superficie interna del perimisio surge hacia el interior del entramado de tejido conectivo que rodea a cada fibra muscular individual, la cual se denomina *endomisio* (Flores y Bermell, 1983; Forrest, 1979; Hui, 2006; Latorre *et. al.*, 1996; López, 2004).

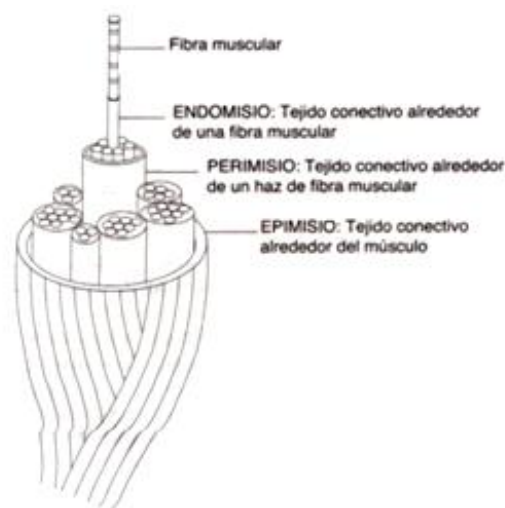


Figura 1. Organización del músculo esquelético

Fuente: López, 2004

La mayor parte del músculo esquelético está compuesto por un tipo de células filamentosas que contienen estructuras miofibrilares dispuestas longitudinalmente. A dichas estructuras se les denomina miofibrillas, constituidas por finas fibras de proteína. Rodeando a cada fibra muscular y bajo el tejido conjuntivo del endomisio existe una lámina, integrada por fibras musculares que son células multinucleadas y de forma alargada, rodeada por una membrana plásmica eléctricamente excitable, situada dentro del endomisio llamada *sarcolema*, en cuyo interior se encuentran las miofibrillas que están rodeadas por una fase líquida, el *sarcoplasma* (Hui, 2006; Latorre *et. al.* 1996; López, 2004).

La estructura de las miofibrillas está formada por unidades idénticas entrelazadas longitudinalmente, denominadas *sarcómeros*, las cuales están separadas entre sí por medio de discos ópticamente densos (*disco Z*). A ambos lados de estos se localiza una banda clara que se denomina *BANDA I* y en el centro de los sarcómeros aparece otra banda que se conoce *BANDA A* y a su vez cada una de ellas presenta otra que se conoce como *BANDA H* (figura 2) (Flores y Bermell, 1983; Forrest, 1979).

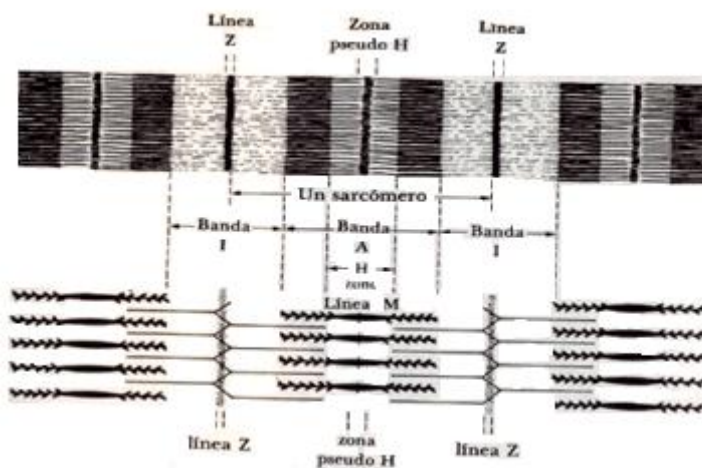


Figura 2. Estructura de la miofibrilla

Fuente: Forrest, 1979

Las miofibrillas están compuestas por filamentos gruesos y delgados los cuales difieren no sólo en dimensiones, sino también en composición química, propiedades y situación del sarcolema. Los filamentos gruesos están formados principalmente por miosina y se localizan a lo largo de la banda A y anclados en su centro, es decir en la línea M, manteniéndolos en su

posición. Los filamentos delgados corresponden a filamentos de actina, los cuales están anclados a la línea Z, formando la banda I (Forrest, 1979; Hui, 2006).

En la figura 3 se muestra la organización de la estructura del músculo estriado.

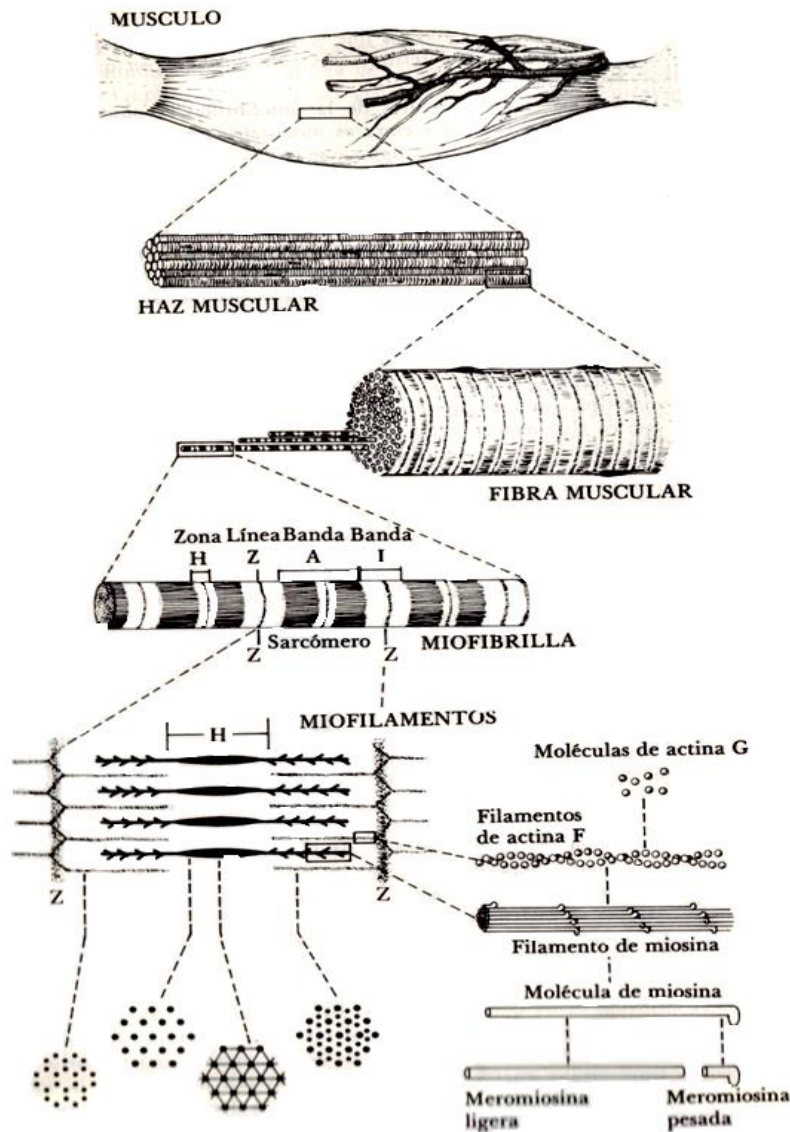


Figura 3. Organización general del músculo estriado

Fuente: Forrest, 1979

La composición del tejido muscular varía con la edad, género, especie y estado de nutrición, la mayor fracción está constituida por las proteínas, éstas desempeñan un papel fundamental en la función biológica del músculo *in vivo*, así como los procesos *post mortem* y se clasifican en sarcoplásmicas, miofibrilares y del estroma (Flores, 1993).

1.2. Mecanismo de contracción y relajación del músculo

La contracción muscular se inicia cuando llega el impulso nervioso a través de las extensiones del sarcolema, denominadas túbulos-T, a partir de ello se origina una despolimerización del retículo sarcoplásmico, lo cual genera la liberación de iones de Ca^{2+} . El calcio liberado se une a una proteína denominada troponina C, activándose con ello el mecanismo que permite la interacción de la actina con las cabezas de miosina de los filamentos gruesos y donde se da lugar a la formación del complejo acto-miosina, lo cual propicia un aumento del traslape de los filamentos gruesos y delgados, y provocan la contracción muscular (Varnam y Sutherland, 1998; Lawrie, 1985; Hui, 2006).

Cabe destacar que la energía necesaria para la contracción muscular procede de la hidrólisis del ATP, lo cual es catalizado por la enzima ATPasa. La relajación se produce por la eliminación del calcio y la desactivación de la actividad ATPasa de la miosina, lo que conlleva a una disociación del complejo acto-miosina. Tan pronto como se reduce la concentración de iones Ca^{2+} y se desactiva la miosina-ATPasa, se forma el complejo ATP-magnesio que relaja y flexibiliza la estructura contráctil; el mecanismo de contracción y relajación se muestra en la figura 4 (Rico, 2009).

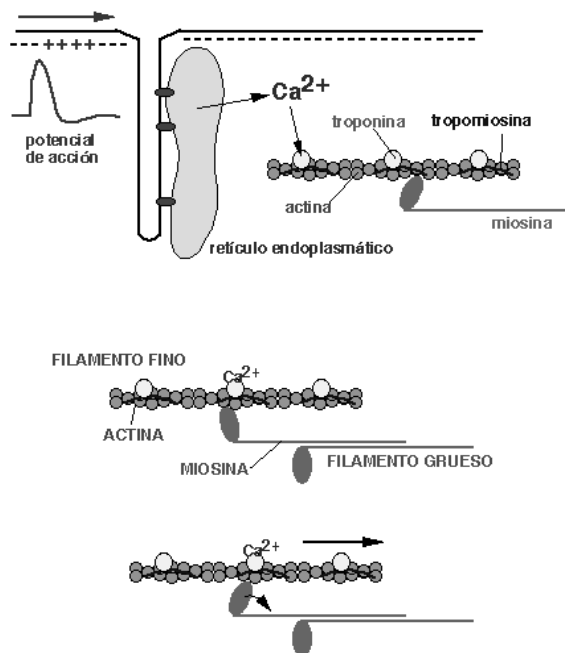


Figura 4. Contracción muscular

Fuente: Nelson D., 2001.

1.3. Calidad de la carne

En los últimos años, el término calidad ha cobrado gran importancia en el contexto de la industria cárnica. Este concepto, sin embargo, varía, dependiendo de a quién vaya dirigido, pero en general se refiere al cumplimiento de ciertos parámetros a los que se debe ajustar un producto normalmente elaborado en forma masiva, el cual es adquirido por el interesado de acuerdo a una situación particular, en algún tiempo y que satisfaga sus necesidades específicas (Rubio, *et. al.*, 2005; María, *et. al.*, 2006).

1.3.1. Parámetros de calidad

Hablar de calidad nos refiere a diferentes parámetros de tipo nutricional (proteínas, carbohidratos, vitaminas, minerales y lípidos), microbiológicos, sensorial (color, olor, sabor, ternura y jugosidad) y tecnológicos (capacidad de retención de agua, pH y consistencia de la grasa) (López, 2004).

1.3.1.1. Nutricionales

Este grupo de parámetros constituye uno de los más importantes, toda vez que se relaciona de manera directa con la salud humana, refiriéndose a los distintos elementos que contiene la carne tales como son: proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas y minerales, así como su contenido de humedad. De hecho los componentes de la carne afectan directamente la calidad industrial como materia prima, así, por ejemplo, un alto contenido de humedad determina en gran medida la vida útil y la aceptación por el consumidor. Los constituyentes químicos más importantes de las partes de animales son las proteínas, las principales son la actina, la miosina, el colágeno, la elastina y la reticulina (Bianchi, 2008; Egan *et. al.*, 1987; Guerrero, 2007; López, 2004).

En estos términos, comparada con otras carnes destinadas al consumo humano, la carne de conejo se caracteriza por un bajo contenido de grasa y un contenido proteico ligeramente mayor, así como un elevado contenido de fosfolípidos (Tabla 1).

Tabla 1. Composición química de la carne de diferentes especies

Especie	Energía (MJ/100g)	Proteína (g/100g)	Lípidos (g/100g)	Fosfolípidos (g/100g lípidos)
Vacuno	0.82	20	12	2.2
Ovino	0.88	18	14	2.4
Porcino	1.09	17	21	1.1
Pollo	0.84	20	12	1.8
Conejo	0.67	21	8	9.7

Fuente: Blas, 1992.

1.3.1.2. Microbiológicos

Estos se refieren al nivel de contaminación microbiana, ya que aunque en el momento del sacrificio el músculo del animal posee propiedades bactericidas, pronto pierde este atributo y pasa a ser un excelente medio de cultivo. Ha sido ampliamente reportado que la contaminación de la carne puede provenir a partir del aparato digestivo del animal, así como del aire y como consecuencia de las manipulaciones antihigiénicas, que comprenden desde el sacrificio, hasta la preparación para su consumo, es por ello que resulta indispensable vigilar que la carne, tanto para consumo directo como para su transformación en productos, cuente con calidad microbiológica a fin de evitar un riesgo en la salud pública (Beltrán, 1994; Carballo, 2001; Moreno, 2006).

1.3.1.3. Sensoriales

Los principales parámetros sensoriales que por cierto los consumidores suelen juzgar de forma subjetiva son: el olor, sabor, color y textura, si bien, a nivel laboratorio existen diferentes métodos objetivos que corroboran la decisión del mismo (Hernández, 1996; Sañudo, 1992).

1.3.1.4. Olor y sabor

El olor y el sabor son aspectos que se encuentran determinados por toda una amplia gama de compuestos químicos que están presentes en concentraciones muy pequeñas en la carne. El sabor, por ejemplo, es el resultado de la presencia de alrededor de 700 compuestos químicos, como son entre otros la carnosina, nucleótidos, ciertos aminoácidos libres, acción de microorganismos y presencia de ácidos libres y del grado de lipólisis de la carne; desde luego

además de otros componentes tales como los lípidos, las proteínas y los carbohidratos (Carballo, 2001; Guerrero, 2007).

Por otra parte, tanto el olor como el sabor característico de la carne, son el resultado en buena medida del proceso térmico aplicado y a la concentración en que se encuentran los compuestos volátiles y los azufrados de la misma. Para la evaluación de dichos parámetros se requiere de expertos en paneles sensoriales y en ellos se cuantifica subjetivamente su intensidad (Amerling, 2001; Bota, 2001).

1.3.1.5. Color

El color es otro aspecto importante de la calidad de la carne y su relevancia consiste en que un producto puede llegar a ser rechazado aún sin valorar ningún otro parámetro, como podría ser su aroma, textura o sabor. Aunque la intensidad en el color rojo realmente tiene poca o ninguna relación con la aptitud al momento del consumo, así como con las propiedades nutrimentales de la carne, éste cobra una gran relevancia por cuanto es relacionado con el grado frescura de la misma; de aquí que resulte de gran importancia para la industria cárnica que la apariencia que la carne ofrece al consumidor a nivel de punto de venta, tenga un alto grado de aceptabilidad (Guerrero, 2007; Hui, 2006; Lanari *et. al.*, 2002).

Las proteínas son las encargadas de generar el color; Estas son denominadas *cromoproteínas* y contienen mayoritariamente en su estructura a un grupo porfirínico conjugado con un metal de transición, el cual forma complejos de coordinación (grupo hemo) (Badui, 1993).

De las hemoproteínas presentes la carne, la mioglobina es la principal responsable del color de ésta, puesto que en una alta proporción, dicho color proviene del núcleo hemo presente en la hemoglobina, que no fue eliminado durante el desangrado, quedando retenido en el sistema vascular, fundamentalmente en los capilares (Miller, 2003).

La mioglobina es un pigmento intracelular, aparentemente distribuido de forma uniforme dentro de los músculos, de color rojo, soluble en agua y que se localiza en las fibras rojas, cumpliendo la función de intervenir en la cadena respiratoria del músculo, se puede considerar que se trata de una estructura globular, muy compacta, ordenada y plegada específicamente, de

forma casi triangular, enlazada a un grupo hemo (Beltrán, 1992; Bohinski, 1978; Fox, 1994; Hui, 2006). Ver figura 5.

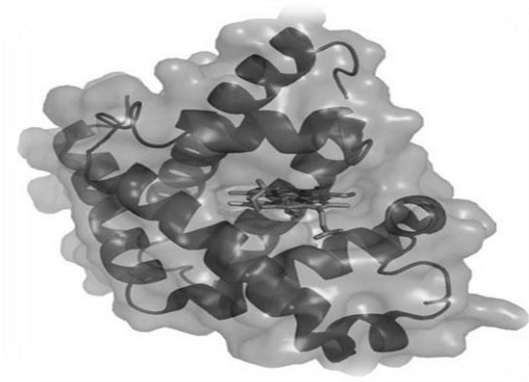


Figura 5 Estructura de la molécula de mioglobina

Fuente: Nelson D., 2001

Las propiedades químicas de la mioglobina se basan en su capacidad de formar complejos iónicos y covalentes con otras moléculas, además de su interacción con gases y con el agua, el cual depende del estado de oxidación del hierro presente en el grupo hemo (Fox, 1994).

Cuando el enlace de coordinación se encuentra libre, la mioglobina se denomina desoximioglobina, presentando una coloración púrpura, así mismo, cuando dicho enlace se encuentra ocupado por el oxígeno da lugar a un complejo no covalente denominándose oximioglobina, siendo su coloración cereza o rojo brillante. Cabe señalar que cuando el estado de oxidación del átomo de hierro se modifica al estado férrico, el enlace de coordinación es ocupado por una molécula de agua, denominándose entonces metamioglobina y se presenta una coloración marrón, la cantidad en que se presenta está determinada por diversos factores, dentro de los cuales destacamos: valores de pH bajos, presencia de aniones y temperaturas de procesamiento elevadas, entre otros (Hui, 2006; Miller, 2003; Osborn, 2003).

En la tabla 2 se muestra la relación entre el estado de la mioglobina, el color que produce y el momento en el que se presenta dicho color.

Tabla 2. Color de la carne de acuerdo con el estado de la mioglobina

Estado de la mioglobina	Color de la carne	Momento en el que se presenta el color.
Mioglobina reducida o Desoximioglobina	Rojo-púrpura	Poco después del sacrificio (en el interior del músculo con poco oxígeno).
Mioglobina rica en O ₂ o Oximioglobina	Rojo vivo	Como normalmente esta en los músculos vivos (Rica en oxígeno).
Mioglobina oxidada o Metamioglobina	Color pardo	Con el contacto prolongado con oxígeno.

Fuente: Hui, 2006; Lanari, *et. al.*, 2002; Miller, 2003

Desde el punto de vista de las propiedades químicas de la mioglobina, se debe tener en cuenta que el color no sólo depende de la molécula que entra a ocupar el sexto enlace de coordinación, sino que, además existen otros factores que contribuyen al color, entre ellos se debe de considerar el estado de oxidación del átomo de hierro, el tipo de enlace formado entre el ligando y el grupo hemo y el estado de la proteína (Hui, 2006).

Como ha sido ampliamente reconocido, el color depende de la cantidad de la mioglobina y del estado fisicoquímico de éste, lo cual se ve reflejado en la sensación provocada por la retina del observador, como resultado de la interacción de la luz con los comportamientos de dicha estructura ocular. Las características dicha interacción son reconocidas como el tono o matiz, la saturación o pureza y la luminosidad o brillo. Por su parte el *tono o matiz* se refiere a una característica que permite clasificar al color como rojo, verde o azul, y depende de la longitud de onda dominante de la luz, que se absorbe por parte de la carne, en función de su composición; la *saturación o pureza* describe el grado o la intensidad con la que un color se separa del gris neutro y se acerca a un color puro del espectro y la *luminosidad o brillo* es la característica de una sensación de color que la hace equivalente a la producida por algún elemento de la escala de grises que va desde el blanco (máxima luminosidad) hasta el negro (mínima luminosidad). (Bota, 2001; Hernández, 1996).

El color de la carne es posible determinarlo por medio de los pigmentos presentes en la misma, los cuales podrían ser clasificados desde el punto de vista del manejo tecnológico

previo o posterior al sacrificio en cuatro tipos: en primer lugar, los pigmentos biológicos, que son acumulados o sintetizados en el organismo *ante mortem*; otro tipo es aquel que se genera como consecuencia de su manejo inadecuado durante el sacrificio; el tercero correspondería a la formación de pigmentos de forma natural en el *post mortem*, ocasionados por la hemoglobina que no fue eliminada en el sacrificio y el cuarto derivado del uso de colorantes naturales o artificiales que pueden ser añadidos al producto (Fernández- López, 2002; Lanari *et. al.*, 2002; Osborn, 2003).

Para fin de evaluación en el laboratorio, el color puede ser medido de forma objetiva mediante la utilización de colorímetros, los cuales se basan en el uso de estándares de iluminación y consideran las coordenadas de color *L, a, b*; éste tipo de equipos son los más utilizados en la actualidad debido a que la prueba no es destructiva, es rápida y presenta mayor confiabilidad en los resultados. La evaluación subjetiva se realiza mediante panel de jueces entrenados, pero existen diversos inconvenientes, desde la materia prima, hasta el estado químico de la mioglobina, además se debe de tomar en cuenta que las pruebas requieren mucho tiempo, y los jueces pueden incurrir en errores (Bota, 2001; Hernández, 1996).

1.3.1.6. Textura

La palabra textura se deriva del latín y significa tejido. Se trata de un aspecto que se refiere a la forma en la que los componentes estructurales de un alimento se arreglan en estructuras macro y microscópicas, ésta se define como “todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un alimento”. Muchos autores se refieren a ella en términos de la percepción de propiedades mecánicas de los materiales por medio de los sentidos, principalmente por el tacto (manos, lengua, dientes y paladar), aunque intervienen otros como la vista (características de la superficie: rugosa, lisa) y el oído (respuesta sonora al aplicar fuerza a algún material). Es por ello que la textura, resulta ser sumamente importante para fines de aceptación, toda vez que el consumidor juzga la calidad de los alimentos en base a atributos que percibe por medio de sus sentidos, los cuales son procesados en el cerebro como una impresión global (Hui, 2006; Martínez *et. al.*, 2001; Rosenthal, 2001).

La jugosidad junto con la ternura, determinan la textura de la carne. Por su parte la jugosidad se refiere al grado de infiltración de grasa, que evita la sequedad de la carne y la ternura

representa la facilidad con que la carne se mastica; su antagónico es la dureza. (Carballo, 2001).

Se han hecho grandes esfuerzos por sistematizar la evaluación de la textura, ya sea de forma subjetiva o con ayuda de un panel sensorial realizado por expertos; en tanto que la evaluación objetiva se realiza empleando métodos instrumentales. En ambos casos se evalúan las propiedades mecánicas, referidas a la manera en que los materiales de los alimentos responden a una aplicación de fuerzas. En el caso de los métodos instrumentales, éstos son clasificados en base al o a los parámetros de interés, tales como la fuerza, la distancia, el tiempo, el volumen y el trabajo (Martínez *et. al.*, 2001; Rosenthal, 2001).

De acuerdo con lo anterior, el estudio de las propiedades mecánicas de los materiales se efectúa a través de diferentes tipos de pruebas a saber: fundamentales, imitativas y sensoriales (Arcos-García, 2002).

Las pruebas fundamentales emplean viscosímetros o reómetros. Por su parte, las pruebas empíricas son efectuadas con instrumentos diseñados para un material específico, en tal caso, los materiales a evaluar son sometidos a penetración, compresión, tensión, corte, flujo, extrusión o una combinación de estos, entre los instrumentos que se encuentran para tal caso se encuentra el Warner- Bratzler, el gelómetro de Bloom y el tenderómetro. Las pruebas imitativas intentan imitar la masticación con cierto tipo de máquinas que juzgan el comportamiento mecánico del alimento, midiendo el esfuerzo y/o deformación del mismo durante la secuencia de la prueba (Martínez *et. al.*, 2001; Rodoult, 2004). Las pruebas sensoriales son llevadas a cabo por expertos utilizando los sentidos, principalmente el gusto; dichos expertos deben de encontrarse en el ambiente óptimo para evaluar la exactitud, la precisión y la validez del parámetro en cuestión (Bota, 2001; Rosenthal, 2001).

La evaluación de la textura, tanto en la parte instrumental como en la sensorial, se reporta en atributos mecánicos, geométricos y de composición; dentro de los mecánicos se encuentra la dureza, viscosidad, elasticidad, adhesividad, fragilidad, masticabilidad y cremosidad.

Los elementos de la carne presentan resistencia a cualquier acción mecánica que se ejerza sobre ellos, por este motivo, se le distinguen dos tipos de dureza: la primaria, debida a su

ultraestructura (arreglo de fibras musculares); y secundaria, debida a la cantidad de colágeno incluida en un músculo determinado. Por lo tanto, en la carne fresca el grado de contracción del músculo, y la forma en que esta contracción se disipa suele verse reflejada en la textura (Guerrero, 2007; Hui, 2006).

1.3.1.7. Tecnológicos

Los parámetros tecnológicos miden la capacidad de la carne para adaptarse a la serie de manipulaciones que tienen lugar durante los procesos de transformación y elaboración de productos de la misma. Presentan, por lo tanto, una gran importancia para el sector industrial, entre los más importantes se encuentran el pH, la capacidad de retención de agua y la consistencia de grasa.

A continuación se desarrollan a grosso modo el pH y la capacidad de retención de agua debido a que son las de mayor relevancia para efectos de esta investigación.

1.3.1.7.1. pH

El pH es uno de los parámetros de la carne que tiene una gran influencia sobre diversos atributos tales como lo son el color, la ternura y la capacidad de retención de agua.

Como se sabe, a consecuencia de la muerte del animal, la glucosa extracelular ya no puede ser utilizada como fuente de energía, quedando disponibles solo fuentes intracelulares como el ATP, creatinafosfato y glucógeno. Sin embargo, ni el ATP ni la creatinafosfato se encuentran en grandes cantidades en el músculo y queda, por lo tanto, el glucógeno como la principal fuente de energía, es de esa manera que la acumulación de ácido láctico (producto de la glucólisis anaerobia *post mortem*) y el descenso del pH muscular *post mortem*, dependen fundamentalmente de la cantidad de glucógeno presente en los tejidos al momento del sacrificio (Hui, 2006; Pearson, 1994).

Una vez que ha disminuido el glucógeno muscular, se activan las calpaínas, que son enzimas proteolíticas de las células musculares activas a valores neutros de pH, las cuales generan proteólisis de los filamentos angostos y gruesos, generándose aminoácidos que, por vía

gluconeogénica (ver esquema en la página 76), tratan de reponer el glucógeno perdido. Esto genera un mayor pH final, mayor estabilidad en las membranas lisosomales y menor actividad de las catepsinas, que son las enzimas proteolíticas de las células musculares activas a bajos valores de pH (Apple *et. al.*, 1995).

A un pH de 5, se acerca al punto isoelectrico de la mayoría de las proteínas cárnicas, en este punto no existen en ellas cargas eléctricas netas y no hay, por tanto, atracción por las moléculas de agua, ni por repulsión entre las moléculas de proteínas (González-Redondo *et. al.*, 2007).

A medida que aumenta el pH, por un lado, aumenta la carga y la atracción dipolo-dipolo, y por lo tanto, hay repulsión entre las moléculas de proteínas cargadas de igual signo, aumentando el tamaño de la zona H. Igualmente se comporta al disminuir de pH (María *et. al.*, 2006).

Lo antes expuesto tiene una gran influencia sobre las propiedades de la carne para su transformación, es por ello, que la medida de pH en carne, proveniente de diversas especies, se ha venido utilizando tradicionalmente como método de identificación de deficiencias en la calidad de la misma, como lo son las carnes pálidas, suaves y exudativas, conocidas como PSE y oscuras, secas y firmes también llamadas DFD, ésta es por cierto una de las ventajas que presenta la carne de conejo, debido a que, al parecer y a diferencia de otras especies, no se han observado problemas de calidad asociados con la caída de pH (González- redondo, 2002; Hernández, 1996; Llorente, 1997).

El pH de la carne se mide empleando un potenciómetro con un electrodo *in situ*, usualmente en los músculos semimembranosos y lumbar (Carballo, 2001).

El pH final de la carne de conejo se encuentra normalmente entre 5.3 y 5.6. Cuando aumenta alejándose del punto isoelectrico de las proteínas miofibrilares, existen más cargas positivas y negativas que atrapan el agua, lo que explica la menor proporción de jugo expelido (Hernández, 1996).

1.3.1.7.2. Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua varía de acuerdo a la especie, edad, raza, si bien, se ha reportado que para este parámetro no es muy relevante el sexo del animal (Amerling, 2001).

Esta es una de las características más estudiadas en cuanto a la tecnología de alimentos y de ella dependen otras propiedades más, tales como el color, la terneza y la jugosidad de los productos cárnicos. La capacidad de retención de agua se relaciona con la propiedad que tienen las proteínas cárnicas, para retener el agua, incluyendo tanto las propias como las añadidas, al someterse a un proceso de elaboración, lo cual determina dos importantes parámetros económicos como son: las pérdidas de peso en los procesos de transformación y la calidad de los productos obtenidos (Carballo, 2001; Flores y Bermell, 1984).

El fenómeno de retención de agua se produce a nivel de las cadenas de actino-miosina, si bien solo se refiere al agua inmovilizada y no guarda relación directa con el agua libre y/o de constitución, estando así determinada, en primer lugar por una inmovilización de agua de los tejidos en el sistema miofibrilar, más el agua mantenida en el músculo (Bianchi, 2008; Flores y Bermell, 1984).

Los cambios en la CRA son un indicador muy sensible de aquello que se produce en la estructura de las proteínas miofibrilares, al desnaturalizarse las proteínas, dicha CRA disminuye (López, 2004).

Los músculos en estado *pre rigor* presentan una alta CRA, lo cual está relacionado con un alto nivel de ATP, que resulta en un estado más relajado con una mayor hidratación miofibrilar y una mayor solubilidad, impidiendo con ello, de manera transitoria, la unión irreversible de actina y miosina, aunque ello disminuye progresivamente cuando se alcanza el *rigor mortis* (Flores y Bermell, 1984; Forrest, 1979; González-Redondo, 2007).

Tras la muerte, previo al inicio del *rigor mortis*, debido al efecto de la disminución de pH y de la concentración del ATP, ocurre una reducción del sistema miofibrilar junto con una disminución de la CRA. Posteriormente ya durante el *rigor mortis* la reducción de la CRA se asocia a la liberación de iones divalentes y la consiguiente creación de puentes de hidrógeno

que ocasionan una aproximación de las cadenas proteicas al combinarse estos iones con los grupos reactivos negativos de las proteínas. El mínimo de la CRA se alcanza como consecuencia de la pérdida de atracción eléctrica de las moléculas de agua y de la falta de espacio entre las proteínas miofibrilares. (Flores y Bermell, 1984; Forrest, 1979; Llorente, 1997; Mendoza *et. al.*, 2004).

Existe una gran variedad de métodos para determinar la capacidad de retención de agua, algunos de los cuales aplican una fuerza externa normalizada y miden el agua liberada, tal como es el caso del método de centrifugación y el método volumétrico capilar. Otros más que evalúan el agua absorbida o bien la pérdida de ella por efecto de la cocción, dentro de ellos, destacan el método de goteo y la pérdida de peso (Carballo, 2001; Flores y Bermell, 1984; López, 2004).

1.4. Factores que afectan la calidad

Desde la antigüedad se ha acostumbrado calificar los animales productores de carne, no sólo por su peso, sino por su apariencia y la calidad de su producto. Con respecto a lo cual existe una amplia gama de factores, como pueden ser la raza del animal, la selección genética de que ha sido objeto, el estrés, el manejo de la explotación, la alimentación, y las condiciones de transporte al matadero, así como el método de sacrificio, el procedimiento *post sacrificio* y la preparación culinaria (Carballo, 2001; López, 2004).

Los factores que afectan la calidad de la carne y que son responsables del 90 % de los problemas de calidad se derivan así en factores *ante mortem* y *post mortem* (Blas, 1992).

1.4.1. Manejo *ante mortem*

El manejo de los animales antes del sacrificio tiene un efecto directo sobre la calidad de la carne para su venta en el mercado en fresco o para la elaboración de productos cárnicos. Este comprende todas aquellas actividades a las que son sometidos los animales, desde que salen de la granja de origen, hasta el matadero, incluyéndose la movilización, la carga en los vehículos y el transporte al sitio donde serán sacrificados; lugar donde se realizan actividades de descarga, arreo y alojamiento en los corrales de descanso (Llorente, 1997; López, 2004).

De acuerdo con lo anterior, se considera que las Buenas Prácticas de Manejo (BPM) de los animales antes de su matanza deben contemplar por lo menos los siguientes aspectos: el diseño, construcción y mantenimiento de las instalaciones, vehículos y equipos necesarios. De hecho las prácticas que se desarrollarán en cada operación deben de estandarizarse y poner un énfasis especial en lo que se refiere a la prohibición de tratos inadecuados, así como establecer el número máximo de animales por unidad de superficie (carga animal para instalaciones y vehículos); Además debe haber un programa de capacitación del personal involucrado en cada una de las actividades que se desarrollan, incluyendo programas adecuados de higiene. De esa manera, un correcto manejo de los animales antes del sacrificio, evita estrés y consecuencias negativas en la calidad del producto (Llorente, 1997; Hui, 2006; Amerling, 2001).

A continuación se describen los factores *ante mortem* más importantes, que han sido ampliamente reconocidos como aquellos que guardan relación con la calidad de la carne generalizada para las diferentes especies.

1.4.1.1. Factores ambientales

Bajo determinadas condiciones, varios de los elementos ambientales son estresantes para los animales, estos son, por ejemplo: el calor, la humedad, la luz, el ruido y el espacio disponible, aunque es preciso señalar que la respuesta que cada factor ambiental producirá en los animales, estará determinado por el peso, la edad, la genética y el sexo (Amerling, 2001; SAGARPA, 2006).

1.4.1.1.1. Temperatura

Ningún factor estresante determina un rango de efectos tan amplio como la temperatura del entorno. Cuando las temperaturas son más frías, se reducen niveles de glucógeno muscular, ya que este tipo de contracción se acompaña de un mayor flujo sanguíneo sin dar lugar al aumento o acumulo del ácido láctico. Las temperaturas excesivamente altas exigen una actividad de los mecanismos de enfriamiento del animal, la temperatura muscular se elevará por que el organismo es incapaz de liberarse del calor con la rapidez suficiente, y puede llevar a la muerte del animal (Blas, 1992; Ranken, 2003).

1.4.1.1.2. Humedad

Un porcentaje adecuado de humedad en el aire en combinación con una temperatura óptima, generan el confort del animal. Sin embargo, los niveles de humedad inapropiados se reflejan así mismo en un malestar de los animales expuestos a temperaturas frías o calientes durante periodos cortos. Es por ello que los animales necesitan enfriarse en climas cálidos, debido a que la humedad del aire hace más difícil la pérdida de calor por la respiración. Por otra parte, en ambientes fríos la humedad del aire aumenta la velocidad de la pérdida calórica directa del organismo (Carballo, 2001; López, 2004).

1.4.1.1.3. Luz, ruido y espacio

El comportamiento animal está influenciado por factores tales como la luz, el ruido y el espacio. Los animales deben gozar de iluminación suficiente, debido a que la oscuridad les ocasiona angustia e incertidumbre, de hecho es posible observar que cuando los animales están ubicados en lugares oscuros tienden a moverse hacia las fuentes luminosas. Los ruidos fuertes, por su parte, alertan a los animales provocando un estado innecesario de ansiedad, por lo cual los ruidos deben ser eliminados. En cuanto al espacio, los animales deben de tener el necesario, tanto en el transporte como en corrales, ya que si es superior o menor al requerido, puede incidir en animales golpeados, excitados o con hematomas, por ejemplo en cerdos se recomienda 2 cerdos x m² de espacio, dependiendo del peso, el calor ambiental y el tiempo de permanencia (Forrest, 1979; Moreno, 2006; SAGARPA, 2006).

1.4.1.2. Factores biológicos

Son aquellos que dependen propiamente de las características de la especie del animal, a continuación se describen brevemente las más relevantes.

1.4.1.2.1. Edad y peso de sacrificio

La edad es una factor que va relacionado con el peso de la canal, de forma que a mayor edad aumenta el peso y la deposición de grasa, el conjunto de dichos factores van a condicionar la composición tisular y el tamaño de las piezas obtenidas, es por ello que el momento óptimo

del sacrificio corresponde a aquel en el que se obtiene mayor rendimiento de la canal y el contenido de la grasa que asegure su conservación y un contenido de grasa de infiltración adecuado para garantizar el sabor y la jugosidad de la carne, de este modo dichos factores influyen de una forma importante con el precio pagado por el animal (Bianchi, 2008; Blas, 1992; Guerrero, 2007; López, 2004).

1.4.1.2.2. Genética

El temperamento de los animales es una condición hereditaria. Se ha reportado que las razas de animales con un temperamento tranquilo, presentan porcentajes inferiores de carne oscura, firme y seca (DFD) en comparación con razas nerviosas. De igual manera, se sabe que la susceptibilidad al estrés se manifiesta de diferente forma en los animales con distintos pelajes, siendo mayor para los bovinos completamente negros en comparación con los de pelaje blanco (Grandin, 1997; Hui, 2006; Watts y Stookey, 2001).

1.4.1.3. Factores tecnológicos

Dentro de estos factores se encuentran las etapas en las que el comportamiento del animal depende de la planeación de los manejadores, a continuación se describen los más importantes.

1.4.1.3.1. Transporte

El transporte de los animales comprende en sentido amplio la carga en el vehículo, el traslado al matadero y la descarga, hecho que constituye para el ganado una sobrecarga más o menos intensa, manifestándose a través de la excitación, el acaloramiento o el cansancio de los mismos; dichos trastornos pueden ocasionar desde estrés, heridas o incluso la muerte del animal. Los sistemas de transporte deben ser diseñados tomando en cuenta puntos críticos como: la ventilación, la especie a transportar, la duración del traslado y la densidad de la carga, con la finalidad de garantizar que los animales no sufran molestias ni estrés innecesario, evitando pérdidas económicas de cierta cuantía, además de mermas en la calidad de la carne. Por todo lo anterior, el transporte constituye un factor importante para obtener una buena carne de consumo (Bianchi, 2009; Beltrán, 1994; López, 2004; Speer, 2001).

1.4.1.3.2. Estrés

El animal constituye un almacén de múltiples defensas naturales frente a condiciones adversas. Todo lo cual se relaciona con la intención de procurar mantener las condiciones internas que permiten al animal continuar sus procesos vitales (Ranken, 2003).

La consecuencia del estrés a nivel de los ajustes metabólicos que lleva asociados se ve reflejado también en los músculos, ajustes traducidos, generalmente, en una mayor demanda de aquellos para contraerse, con lo cual se demanda un mayor flujo sanguíneo, así como la liberación de hormonas, que preparan al animal ante un determinado estado de emergencia (Forrest, 1979).

Ha sido reportado que cuando el animal se somete a un estado de estrés antes de la matanza, suele agotarse el glucógeno muscular y, que el pH final de la carne tiende a ser relativamente alto (superior a 6.0). Bajo tales condiciones, las proteínas se encuentran fuera de su punto isoeléctrico, absorbiendo cantidades mayores de agua, lo que resulta en una apariencia seca. En este caso, la luz se refleja poco, el color de la carne es rojo oscuro. Además la firmeza en este tipo de carne se ve incrementada debido a una mayor turgencia de las fibras musculares. Ello sin contar que, se favorece el crecimiento bacteriano, con lo cual la vida de anaquel de la carne se ve reducida. A este tipo de carne se denomina oscura, firme y seca o DFD (por sus siglas en inglés), y es una condición especialmente frecuente en bovinos (Grandin, 2001; Speer *et. al.*, 2001; SAGARPA, 2006).

Para el caso de los cerdos, ha sido señalado que el nivel de glucógeno desciende y el pH decae rápidamente hasta niveles de 5.5, estando la carne aún caliente (superior a 30°C). Estos cambios ocasionan la precipitación de las proteínas sarcoplasmáticas y miofibrilares, produciéndose con ello una pérdida en la capacidad de retención de agua de la carne. Es así como una mayor cohesión en la estructura miofibrilar (incremento de la interacción proteína-proteína en detrimento de las asociaciones proteína-agua) y la desnaturalización proteica, se traducen en mayor difusión y menor penetración de la luz y, por ende, la carne aparece más pálida (Speer *et. al.*, 2001).

Como consecuencia de la carga y descarga de los animales en los vehículos, en los cuales son transportados, se genera una mayor interacción social, con una consecuente agresividad y mayor susceptibilidad a los malos manejos. Todo ello se refleja también en un incremento en la cantidad de hematomas, contusiones y traumatismos, lo cual ocasiona una depreciación en la calidad de la carne (López, 2004).

En el caso del conejo, su carne no presenta problemas tecnológicos relacionados con músculos pálidos y exudativos, además el estrés no tiene influencia en el color final de la misma, puesto que su carne se considera blanca, sin embargo es necesario que se genere el menor estrés en el animal, para producir una carne de óptima calidad.

1.4.2. Método de insensibilización y sacrificio

La insensibilización se refiere a una pérdida de la capacidad de experimentar impresiones físicas, propia de los seres vivos debido a un proceso mecánico, químico o eléctrico que interrumpe, en forma momentánea, la percepción a través de los sentidos. Dicho proceso se realiza con el fin de provocar su inconsciencia de los animales y asegurarse de que estos no se recuperarán antes de ser sacrificados. Al mismo tiempo, se logra inmovilizar al animal para evitar que lesiones a los operarios durante la manipulación previa a su muerte (Hui, 2006; Moreno, 2006).

Los sistemas utilizados para producir la insensibilización y sacrificio de los animales deben permitir un rápido desangrado, a fin de evitar que alteren las características físicas, químicas e higiénicas del producto, además se deben evitar dolores y sufrimientos innecesarios al animal (López, 2004; Amerling, 2001, Hui, 2006).

El método más antiguo que ha sido empleado para insensibilizar al animal, consta en proporcionar un golpe en la cabeza, aunque de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana “NOM-033-ZOO-1995”, la forma de insensibilización y el método de sacrificio a ser empleados, depende de la especie del animal del que se trate (Hui, 2006).

En este sentido, las condiciones superiores y facilidades de un rastro deberán orientarse a mejorar los estándares de acondicionamiento para evitar sufrimiento innecesario de aquellos, así como procurar una reducción de contaminaciones cruzadas (Llorente, 1997).

1.4.3. Manejo *Post mortem*

Una vez que el animal ha sido sacrificado ocurren una serie de cambios químicos y físicos asociados a la conversión del músculo en carne, cuyas etapas más importantes se describen a continuación (Ranken, 2003).

1.4.3.1. Transformación de músculo en carne

La conversión del músculo en carne es un proceso que involucra desde que el animal está vivo, hasta su transformación en un producto para fines de alimentación, siendo la operación central de este proceso el sacrificio de los animales, toda vez que a partir de éste se inician los procesos metabólicos que alteran la naturaleza del músculo *in vivo*. Sin embargo, esta operación no puede considerarse aislada con respecto al manejo previo al sacrificio y al proceso posterior, ya que algunos aspectos de la contracción y relajación *in vivo* guardan con el acortamiento y disminución del ablandamiento que ocurren en la carne durante los cambios *post mortem*, lo cual afecta de manera sensible a la calidad de la carne (Carballo, 2001; Barrón *et. al.*, 2007; Amerling, 2001).

El proceso de transformación de músculo en carne se puede dividir en tres etapas: pre *rigor*, *rigor mortis* y etapa de maduración (Hui, 2006).

1.4.3.1.1. Pre rigor

Una de las operaciones propias del sacrificio es el desangrado, lo cual se asocia con la muerte del animal, debido a un paro circulatorio y cardíaco. Una vez que la presión sanguínea se ve reducida, el sistema respiratorio intenta ajustar sus funciones para mantener el abastecimiento requerido de sangre a los órganos vitales, lo cual conlleva a un aumento de la frecuencia cardíaca, así como una vasoconstricción de las venas y arterias de la periferia. En este punto el músculo es extensible y se puede estirar de modo reversible, posteriormente, cuando el

oxígeno se agota en el tejido muscular, se establece de manera predominante y definitivo, el metabolismo anaerobio, por lo cual se da paso a que sea la glucólisis la única vía para generar energía (ver esquema en la página 75). Es así como las reservas de glucógeno disminuyen y el ácido láctico se acumula en el tejido muscular, lo cual lleva a una reducción del pH, aunado a lo anterior se produce la falla en los mecanismos que controlan la temperatura corporal (Carballo, 2001; Hui, 2006; López, 2004 Mendoza *et. al.*, 2004; Ramírez, 2004; Ranken, 2004; Torrescano, 2008).

1.4.3.1.2. Rigor mortis

El *rigor mortis* se presenta poco después de la muerte, caracterizándose por el hecho de que el tejido muscular se encuentra en un estado de rigidez sostenida y es inextensible. Ello se debe a que el control nervioso, se pierde y se desencadena la aparición de impulsos localizados que inician rápidos ciclos de contracción y relajación muscular (Carballo, 2001; Ranken, 2003).

Los procesos que conducen al establecimiento del *rigor mortis* son similares a los que surgen durante la contracción muscular solo que ahora lo hacen de una forma irreversible, a consecuencia del agotamiento de las reservas de ATP que evitan la ruptura de los puentes cruzados de actina y miosina (Barrón *et. al.*, 2007; Carballo, 2001; Hui, 2006).

El ciclo de contracción – relajación se detiene debido a la falla en los mecanismos encargados de sintetizar ATP, por lo que la elasticidad muscular se pierde de manera paulatina hasta llegar a un estado de contracción sostenida que se caracteriza por la formación irreversible del complejo actomiosina (Hui, 2006)

El descenso del pH muscular como consecuencia de la acumulación de ácido láctico es uno de los cambios más significativos en los cambios *post mortem*. Las enzimas responsables de la glucólisis se desnaturalizan progresivamente a medida que el pH se aproxima a 5.5 y al punto isoelectrico de las proteínas (Llorente, 1997; Ramírez, 2004).

El rigor mortis se desarrolla entre las 8 y 12 horas en el vacuno; entre las 2 y 6 horas en el cerdo; entre las 6 y 10 horas en el ovino y, entre 1 y 2 h en aves y conejos (Bianchi, 2008).

1.4.3.1.3. Etapa de maduración

Los procesos bioquímicos que llevan a la transformación del músculo en carne son imprescindibles para comprender los cambios que afectan la calidad final de la carne (Hui, 2006).

A medida que avanza el tiempo *post* sacrificio de los animales, el tejido muscular va recuperando gradualmente cierta elasticidad como consecuencia de la pérdida de la integridad del tejido, mejorando con ello la textura dando lugar a la formación de compuestos precursores del aroma. De igual manera a medida que el pH del músculo desciende se van liberando enzimas asociadas a la degradación de las proteínas. La liberación de catepsinas puede ser la responsable de una parte, al menos, de los cambios estructurales *post*-mortales observados (Hui, 2006; Sañudo, 1992).

Es de esa manera que el ablandamiento que tiene lugar durante la maduración o envejecimiento de la carne, se ha adjudicado, en parte, a la degradación de algunos componentes del tejido conectivo y del colágeno del músculo, bajo la acción de las catepsinas, lo cual da como resultado la pérdida de tensión y cambios en la estructura de las miofibrillas. En este caso concreto, el tejido conectivo se degrada hasta un punto tal que el músculo deja de permanecer firmemente unido a la estructura esquelética (Barrón *et. al.*, 2007; Carballo, 2001; Forrest, 1979; Ranken, 2003).

En la figura 6 se da un resumen de los principales cambios desde que el animal se encuentra vivo hasta que se convierte en carne.

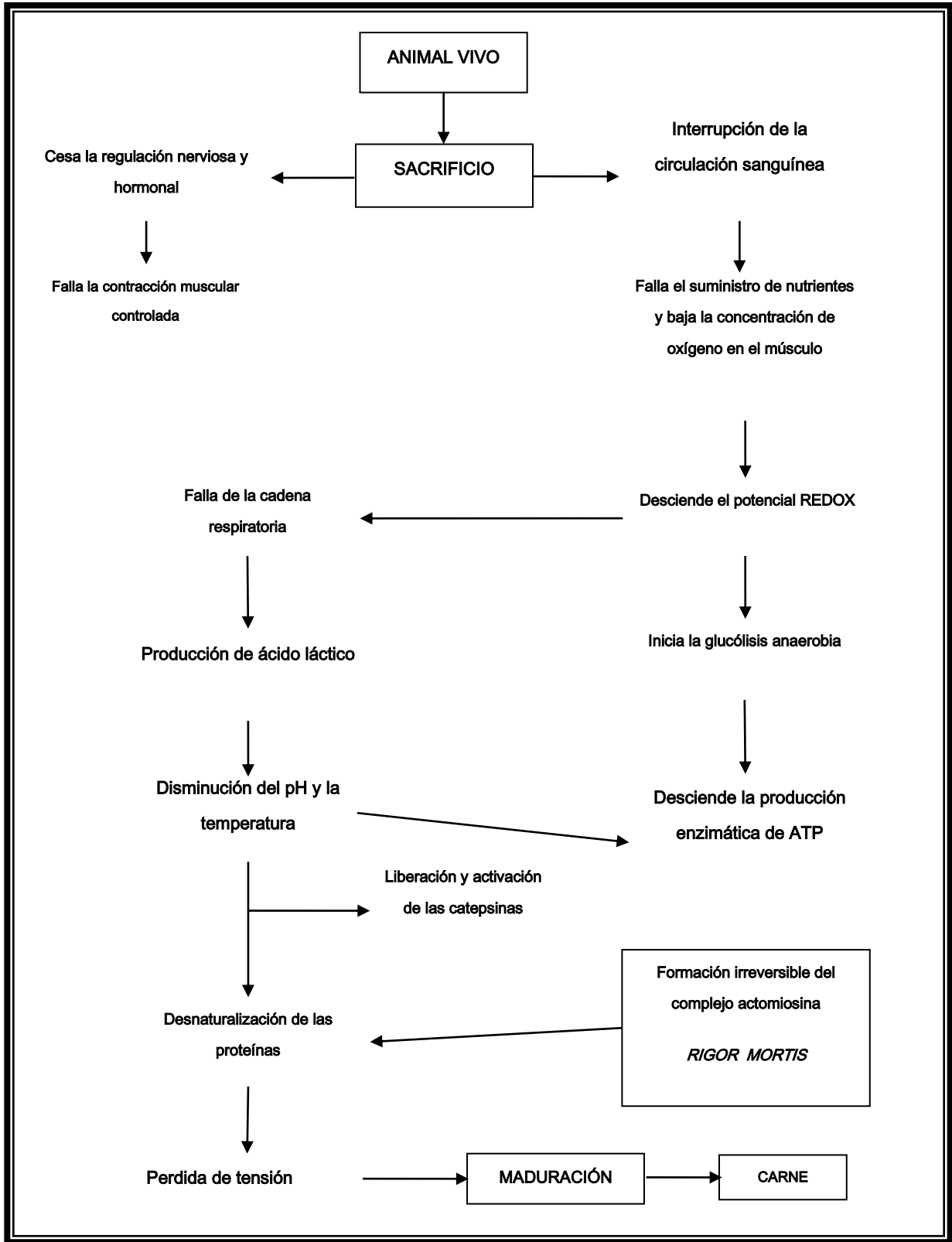


Figura 6. Principales cambios de la transformación del músculo en carne

Fuente: Adaptación de Hui, 2006 y Carballo, 2001.

JUSTIFICACIÓN

Los conejos de la Línea FES, son una línea desarrollada en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (UNAM) en el periodo de agosto del 2002 a julio del 2003, y es el resultado de una gran cantidad de investigaciones, cuyo objetivo fue evaluar la respuesta de cinco ciclos de selección de los parámetros reproductivos de una población de conejos formada a partir de las razas: Nueva Zelanda Blanco, California y Chinchilla (Valencia, 2005), esto con el propósito de mejorar la calidad de la carne.

Hablar de calidad de la carne de conejo de las razas más comunes, como las antes mencionadas, es muy complejo, sin embargo existen diferentes investigaciones de parámetros como son: el pH, la capacidad de retención de agua, la dureza, la composición química y el color, entre otros, los cuales se reportan distintos e innumerables investigaciones; en cuanto a la Línea FES no existe información alguna, es ahí donde el planteamiento de este trabajo cobra gran relevancia, por lo cual se requiere llevar a cabo una investigación para generar el acervo de información en cuanto a la calidad de la carne de conejo de la línea FES, necesaria para entender los requerimientos como producto terminado, así como su procedimiento y limitaciones para transformación.

OBJETIVOS

Objetivo general

Establecer los cambios del pH, capacidad de retención de agua, color y dureza, en el músculo *longissimus dorsi* de conejos durante las primeras 48 horas *post* sacrificio, en su transformación en carne, para determinar su relación con el proceso de maduración.

Objetivos particulares:

1. Determinar el pH durante las primeras 48 h *post* sacrificio, en el músculo *longissimus dorsi* de conejos, mediante el uso del potenciómetro.
2. Determinar la capacidad de retención de agua (CRA) durante las primeras 48 h *post* sacrificio en el músculo *longissimus dorsi* de conejo mediante el método de la centrifugación.
3. Determinar el color en el músculo *longissimus dorsi* del conejo, mediante el uso del colorímetro.
4. Determinar la dureza en el músculo *longissimus dorsi* del conejo, mediante el uso del equipo Instron.

Hipótesis

El descenso en el pH, la modificación de la capacidad de retención de agua, la variación del color y la dureza de la carne de conejo durante las primeras 48 h *post mortem* guardarán relación con el tiempo y el proceso de maduración de la misma.

2. Metodología experimental

La realización de este trabajo se llevó a cabo en el Centro de Enseñanza Agropecuaria (CEA) y en el laboratorio 7 de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria, de la facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (Campo 4), Universidad Nacional Autónoma de México. Ubicada en el Km. 2.5 de la carretera Cuautitlán-Teoloyucan, colonia San Sebastián Xhala, en Cuautitlán Izcalli, México y fue desarrollado tomando como referencia diseño experimental mostrado en la figura 7.

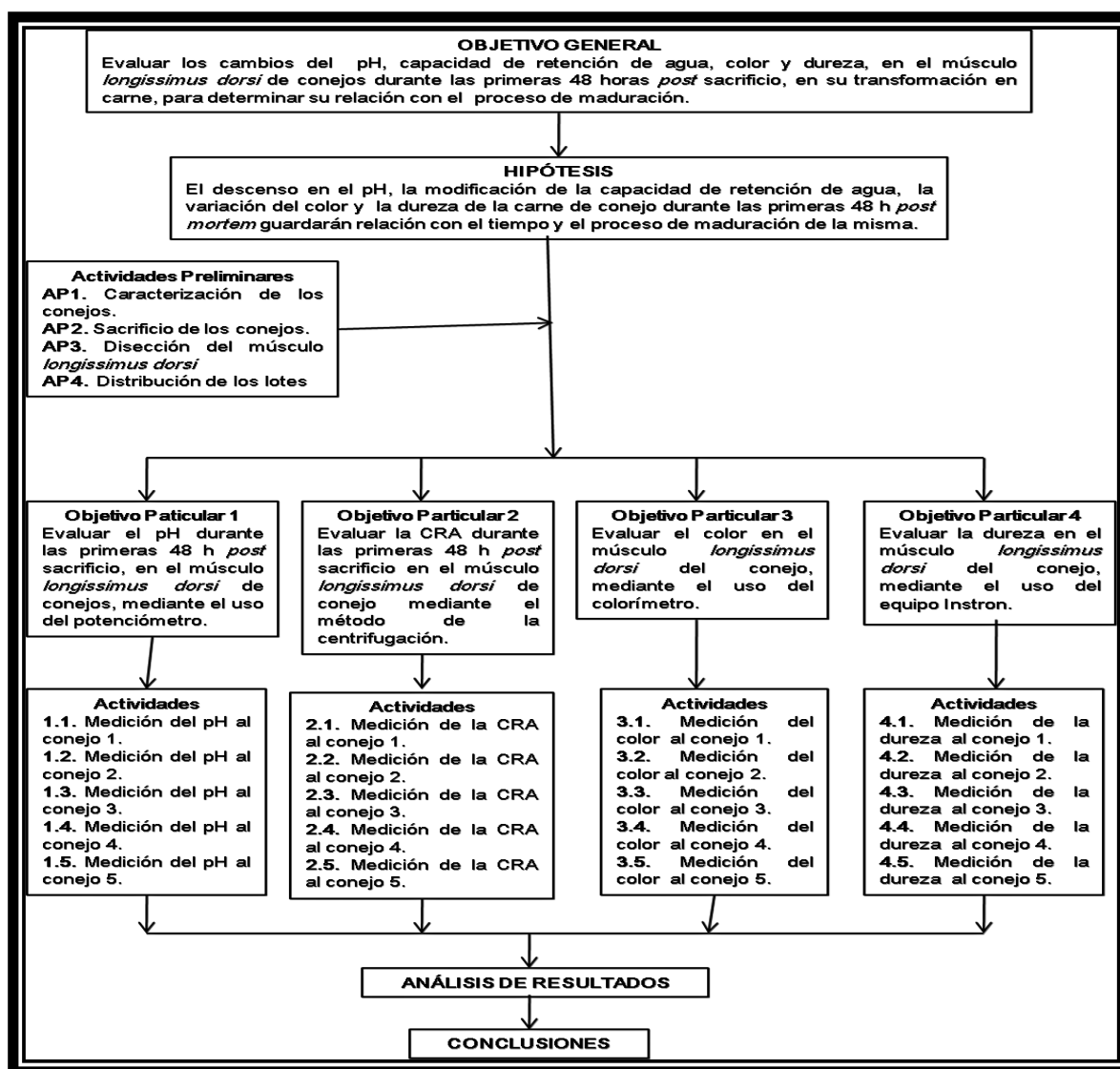


Figura 7. Diseño experimental

2.1. Actividades Preliminares

A continuación se desarrollan las actividades preliminares, las cuales son aplicables para todos los objetivos particulares.

2.1.1. Caracterización de los conejos

Esta actividad fue realizada con el fin de unificar a los conejos en cuanto a su raza, edad y sexo, además de tener las mismas condiciones de alimentación y crianza; y así con el apoyo del personal del Módulo de Producción de Conejos del Centro de Enseñanza Agropecuaria (CEA) de la FES-Cuautitlán, fueron seleccionados 15 conejos machos, sanos de la Línea FES, los cuales fueron alimentados mediante un concentrado comercial, que aportaba los siguientes nutrientes: E.L.N. 46%, Proteínas 16.5%, Fibra 14.50%, Humedad 12%, Grasa 2%, Calcio 0.12%, Cenizas 0.9% y Fósforo 0.7%.

El estudio se realizó con conejos de 70 ± 2 días de edad.

Para efectos de la evaluación, los conejos fueron distribuidos en 3 lotes (A, B y C) con 5 animales cada uno. Una vez caracterizados los conejos, se procedió a sacrificar dichos animales, el cual es desarrollado a continuación.

2.1.2. Sacrificio del conejo

Cada lote de conejos fue sacrificado en 3 periodos distintos, lo cual se llevó a cabo en el Taller de Cárnicos (FES-Cuautitlán). La descripción del proceso del sacrificio utilizado, se muestra en la figura 8 y está documentado mediante fotografías que fueron tomadas para tal efecto.

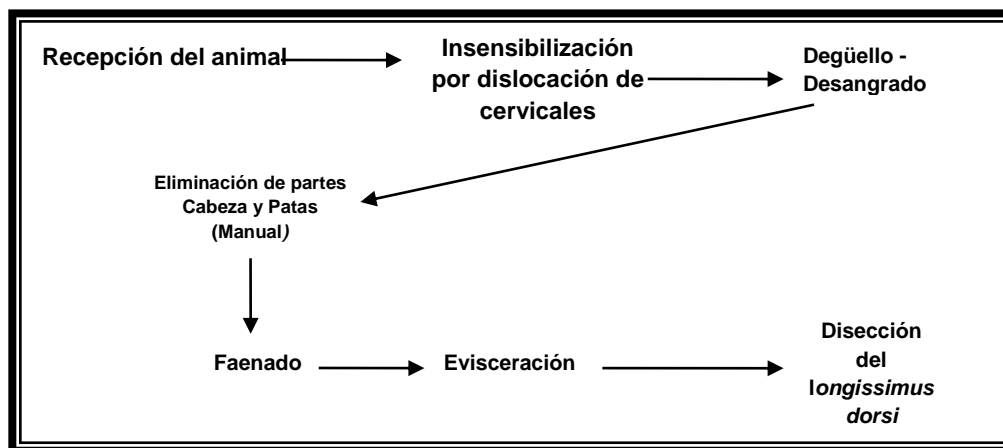


Figura 8. Sacrificio de los conejos

La insensibilización se llevó a cabo conforme a la norma NOM-033-ZOO-1995, el cual consistió en el método de dislocación de cervicales, se realizó tomando con una mano el cuello del conejo a la altura de las cervicales y con la otra mano los miembros posteriores, aplicando la fuerza necesaria que permita efectuar una dislocación inmediata. Ver la figura 9.



Figura 9. Insensibilización mediante el método de dislocación de cervicales

Una vez insensibilizado el animal, se procede a colocar un arnés entre el tendón del músculo flexor superficial de los dedos y el músculo tibial caudal, es decir en la parte baja de las patas posteriores. Ver figura 10.



Figura 10. Colocación en el arnés

Inmediatamente después se realizó un corte a nivel de las vértebras cervicales empleando un cuchillo. Ver la figura 11.



Figura 11. Corte a nivel de vértebras cervicales

Posteriormente se dejó desangrar al conejo, por un periodo aproximado de 2 minutos. Ver figura 12.



Figura 12. Desangrado del conejo

Una vez que el conejo fue desangrado, se eliminaron las extremidades y se procedió a retirar la piel, para lo cual se realizó un corte en las piernas traseras y se jaló la piel con el uso de un cuchillo y de los puños. Ver la figura 13.



Figura 13. Faeneado

Una vez terminado el faenado del animal se prosiguió al eviscerado de la canal, realizando un corte en la línea media de la pared abdominal, eliminando el recto y la vejiga, los intestinos y los riñones, tal como se muestra en la figura 14.



Figura 14. Eviscerado

2.1.3. Disección del músculo *longissimus dorsi*

Después del eviscerado, se obtuvo la canal de los conejos (Figura 15), y se procedió a diseccionar el músculo *longissimus dorsi*, desde la onceava vértebra craneal hasta la quinta vértebra lumbar (Figura 16).



Figura 15. Canal del conejo



Figura 16. Disección del músculo *longissimus dorsi*

A los músculos disectados (Figura 17) se les retiró la fascia y se envasaron al vacío individualmente para evitar contaminaciones. Dichas muestras se almacenaron a 4 °C, hasta el momento de proceder a realizar la evaluación correspondiente.



Figura 17. Músculo *longissimus dorsi* diseccionado

2.1.4. Distribución de los lotes

Los conejos de cada lote (A, B y C) fueron asignados a cada tiempo de evaluación, dicho tiempo fue aplicado para todas las variables debido a que se hicieron a la par, tal y como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Distribución de los lotes a evaluar

Lote A	Lote B	Lote C	Evaluación pH, CRA, color , dureza y Aw
Conejo 1	Conejo 6	Conejo 11	Tiempo 1: al momento de ser sacrificado
Conejo 2	Conejo 7	Conejo 12	Tiempo 2: 3 horas <i>post</i> del sacrificio
Conejo 3	Conejo 8	Conejo 13	Tiempo 3: 6 horas <i>post</i> del sacrificio
Conejo 4	Conejo 9	Conejo 14	Tiempo 4: 24 horas <i>post</i> del sacrificio
Conejo 5	Conejo 10	Conejo 15	Tiempo 5, 3 horas <i>post</i> del sacrificio

A continuación se desarrolla cada una de las metodologías utilizadas para la evaluación de las variables analizadas en cada uno de los objetivos.

2.2. Análisis realizado en la carne

El análisis del músculo *longissimus dorsi* de las canales, se realizó en el laboratorio 7 de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria de la FES-Cuautitlán, las pruebas realizadas consistieron en determinar: el pH, la capacidad de retención de agua, el color, la dureza y la actividad de agua.

2.2.1. pH

Este se determinó realizando una incisión de 3 mm de profundidad a nivel la 5^a vértebra lumbar de la canal, utilizando un potenciómetro de penetración Thermo Orion FiveStar acoplado con el electrodo Kniphe. La prueba se realizó por triplicado sobre la misma muestra (González-Redondo *et al.*, 2007).

Dicho procedimiento se llevó a cabo para obtener cada una de las actividades del objetivo 1.

2.2.2. Capacidad de retención de agua

Se empleó el método reportado por Guerrero *et. al.*, 2002. Consistente en picar 10 gramos de muestra y colocarla en tubos para centrifuga por duplicado, procediendo a agregar 16 ml de una solución de NaCl 0.6 N y dejando reposar durante media hora en un baño de hielo, para centrifugar a 5000 rpm durante 30 minutos. Una vez centrifugado, el sobrenadante se decanta en una bureta para ser evaluado.

Dicho método fue modificado debido a las condiciones del equipo empleado, con el fin de evitar el sobrecalentamiento de la muestra durante la centrifugación, así como ayudar al rendimiento del músculo empleado; de este modo se utilizaron 5 gramos de *longissimus dorsi*, se picó, se molió en licuadora por 20 segundos con 8 ml de una solución de NaCl 0.6 N, se dejó reposar en una caja térmica con hielos y se mantuvo en refrigeración a 4 °C por media hora, una vez transcurrido este tiempo, se distribuyó la muestra en tubos Eppendorf del mismo peso para mantener un equilibrio en dichos tubos. Los tubos permanecieron en una centrífuga Biofuge Haereus con una capacidad para 30 tubos, se centrifugó la muestra a 10000 rpm durante 15 minutos. El sobrenadante se decantó en una probeta para medirlo, se reportó como % CRA. La prueba se realizó por duplicado.

Dicho procedimiento se llevó a cabo para obtener cada una de las actividades del objetivo 2.

2.2.3. Color

Este fue determinado en la superficie del músculo *longissimus dorsi*, a nivel de la 4ª vértebra lumbar mediante un colorímetro Minolta Modelo CR-300 (Pascual *et al.*, 2008). La lectura se realizó por triplicado sobre la misma muestra. Cabe aclarar que los resultados pueden ser expresados en términos de luminosidad (L), cromaticidad (a) y tonalidad (b); en donde la luminosidad mide de blanco a negro (100-0); la cromaticidad mide tonalidades de rojo hasta verde; y la tonalidad mide de amarillo hasta azul. De acuerdo con lo anterior y para los fines del trabajo solo se consideró la luminosidad debido a que la carne de conejo se considera blanca.

Dicho procedimiento se llevó a cabo para obtener cada una de las actividades del objetivo 3.

2.2.4. Dureza

Se determinó mediante la evaluación de las propiedades mecánicas, utilizando un texturómetro Instron, Modelo 4411, procediendo a aplicar una fuerza de 12N perpendicular a la dirección de las fibras hasta llegar a una compresión del 50%, utilizando muestras de 2x2x1 cm provenientes del músculo *longissimus dorsi*, dividiendo en 3 partes de forma perpendicular a las fibras para realizar la prueba por triplicado.

El resultado se expresaba en términos de dureza, reportada como la fuerza máxima ejercida sobre la muestra (Arcos-García, 2002).

Dicho procedimiento se llevó a cabo para obtener cada una de las actividades del objetivo 4.

2.2.5. Actividad de agua

Esta determinación se realizó con el fin de llevar un control sobre la proliferación de microorganismos en la materia prima durante el proceso de evaluación, para lo cual se utilizó un equipo Paw Kit, empleando cajas de plástico que servían para colocar las muestras del músculo *longissimus dorsi* y obtener el valor de actividad de agua. La prueba se realizó por triplicado.

Una vez realizadas las pruebas de cada una de las variables de los objetivos, se realizó el análisis estadístico, el cual es desarrollado a continuación.

2.3. Análisis estadístico

Las variables evaluadas fueron analizadas mediante un análisis de varianza de una sola vía, empleando el software MINITAB, en donde cada una de las variables evaluadas (pH, CRA, color, dureza y actividad de agua), fueron relacionadas por separado con el tiempo de maduración de la carne, desde el momento del sacrificio, hasta las 48 horas después del mismo.

A continuación se presentan los resultados de dicho análisis.

2.3.1. pH

A los resultados del pH, de cada lote obtenidos (A, B, C), de cada tiempo evaluado (0, 3, 6, 24, 48 horas), se les saco la media y la desviación estándar (tabla 4) y después se metió al software MINITAB, para realizar el análisis de varianza de una sola vía, el resumen de dicho análisis, se muestra en la tabla 5.

Tabla 4. Media y desviación estándar del pH

	Lote A		Lote B		Lote C	
Tiempo	Media	Desv. Std.	Media	Desv. Std.	Media	Desv. Std.
0	6.44	0.035	6.46	0.038	6.48	0.015
3	6.03	0.055	5.98	0.025	6.06	0.015
6	5.79	0.031	5.77	0.032	5.78	0.01
24	5.80	0.026	5.82	0.025	5.83	0.032
48	5.86	0.015	5.87	0.015	5.88	0.021

Tabla 5. ANOVA pH versus tiempo

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	3	19.390	6.4633	0.0004
Columna 2	3	18.073	6.0244	0.0019
Columna 3	3	17.347	5.7822	0.0001
Columna 4	3	17.450	5.8167	0.0002
Columna 5	3	17.607	5.8689	0.0001

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	GL	Prom. de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Entre grupos	0.939	4	0.235	424.394	3.478
Dentro de los grupos	0.006	10	0.001		
Total	0.945	14			

2.3.2. Capacidad de retención de agua

A los resultados de la capacidad de retención de agua, obtenidos de cada tiempo evaluado (0, 3, 6, 24, 48 horas), se les sacó la media y la desviación estándar (tabla 6) y después se metió al software MINITAB, para realizar el análisis de varianza de una sola vía, el resumen de dicho análisis, se muestra en la tabla 7.

Tabla 6. Media y desviación estándar de la capacidad de retención de agua

Tiempo	Lote A		Lote B		Lote C	
	Media	Desv. Std.	Media	Desv. Std.	Media	Desv. Std.
0	69.33	3.58	68.52	1.69	70.86	1.21
3	69.57	5.43	70.94	4.34	71.57	3.01
6	67.25	2.33	64.00	0	65.68	3.09
24	52.53	1.77	57.88	5.65	57.32	13.59
48	44.81	7.2	40.82	9.75	47.82	3.09

Tabla 7. ANOVA capacidad de retención de agua versus tiempo

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	3	208.707	69.569	1.404
Columna 2	3	212.082	70.694	1.042
Columna 3	3	196.930	65.643	2.645
Columna 4	3	167.739	55.913	8.645
Columna 5	3	133.451	44.484	12.311

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	GL	Prom. de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Entre grupos	1461.880	4	365.470	70.153	3.478
Dentro de los grupos	52.096	10	5.210		
Total	1513.976	14			

2.3.3. Color

A los resultados de color, obtenidos de cada tiempo evaluado (0, 3, 6, 24, 48 horas), se les sacó la media y la desviación estándar (tabla 8) y después se metió al software MINITAB, para realizar el análisis de varianza de una sola vía, el resumen de dicho análisis, se muestra en la tabla 9.

Tabla 8. Media y desviación estándar del color

	Lote A		Lote B		Lote C	
Tiempo	Media	Desv. Std.	Media	Desv. Std.	Media	Desv. Std.
0	49.81	0.98	49.75	1.53	43.71	0.055
3	44.20	1.97	46.03	2.05	44.87	0.37
6	48.30	0.56	49.25	1.28	47.66	1.02
24	54.32	1.19	53.80	1.32	54.31	0.48
48	58.26	0.18	57.04	0.76	57.60	0.46

Tabla 9. ANOVA color versus tiempo

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	3	143.280	47.760	12.283
Columna 2	3	135.103	45.034	0.857
Columna 3	3	145.213	48.404	0.643
Columna 4	3	162.437	54.146	0.088
Columna 5	3	172.897	57.632	0.375

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	GL	Prom. de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Entre grupos	317.653	4	79.413	27.874	3.478
Dentro de los grupos	28.490	10	2.849		
Total	346.143	14			

2.3.4. Actividad de agua

A los resultados del actividad de agua, obtenidos de cada tiempo evaluado (0, 3, 6, 24, 48 horas), se les sacó la media y la desviación estándar (tabla 10) y después se metió al software MINITAB, para realizar el análisis de varianza de una sola vía, el resumen de dicho análisis, se muestra en la tabla 11.

Tabla 10. Media y desviación estándar del actividad de agua

	Lote A		Lote B		Lote C	
Tiempo	Media	Desv. Std.	Media	Desv. Std.	Media	Desv. Std.
0	0.91	1.5E-08	0.92	0.010	0.91	0.0058
3	0.91	1.0E-02	0.90	0.006	0.91	0.0058
6	0.91	5.8E-03	0.90	0.000	0.91	0.0058
24	0.92	1.5E-02	0.91	0.006	0.91	0.0208
48	0.92	1.0E-02	0.92	0.006	0.90	0.0058

Tabla 11. ANOVA actividad de agua versus tiempo

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	3	2.737	0.912	0.00005
Columna 2	3	2.720	0.907	0.00001
Columna 3	3	2.720	0.907	0.00004
Columna 4	3	2.737	0.912	0.00003

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	GL	Prom. de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Entre grupos	0.0002	4	4.55556E-05	0.932	3.478
Dentro de los grupos	0.0005	10	4.88889E-05		
Total	0.0007	14			

3. Análisis de resultados y Discusión

A continuación se presentan los análisis y la discusión de las variables evaluadas durante la experimentación: el pH, la capacidad de retención de agua, el color, la dureza y la actividad de agua.

3.1. pH

En la figura 18 se puede apreciar la variación del pH durante las primeras 48 horas después del sacrificio, donde se muestra que en un inicio el pH de los conejos de los lotes A, B y C es de aproximadamente 6.4, comenzando a disminuir hasta un valor de 5.7 alrededor de las 6 horas y posteriormente se puede apreciar un ligero incremento hasta alcanzar a un valor final de 5.87.

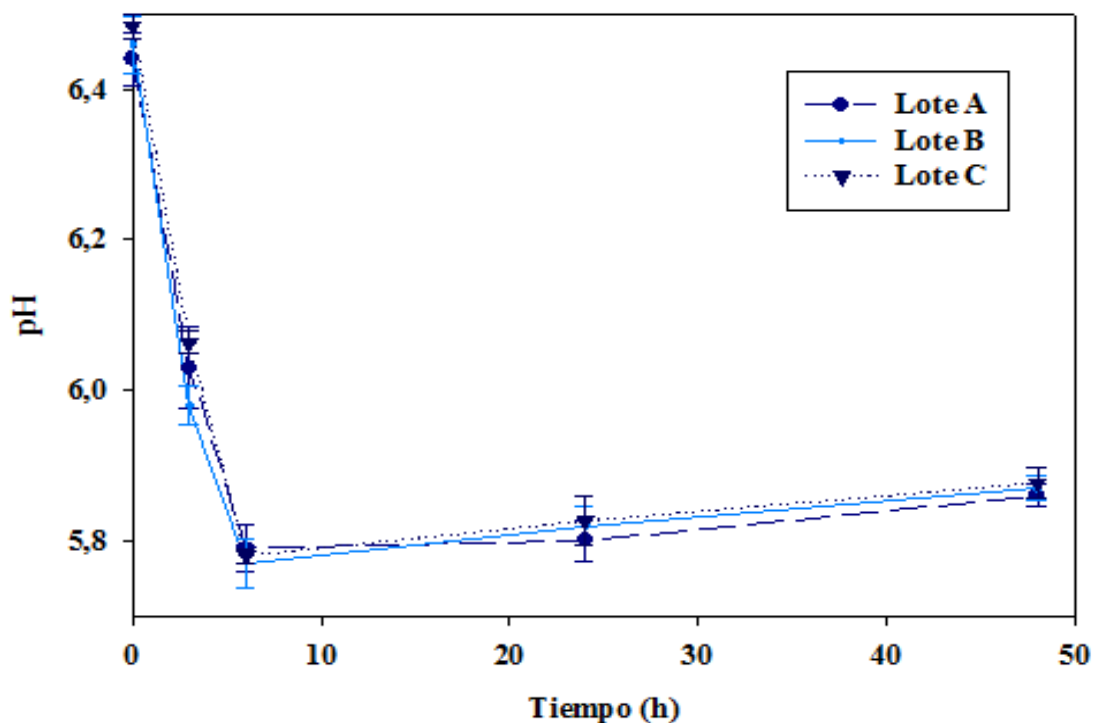


Figura 18. Variación del pH durante las primeras 48 h *post sacrificio*

Figura

De acuerdo con lo anterior y mediante el análisis estadístico realizado dentro del presente trabajo donde la F calculada resultó ser mayor que la F de tablas se puede afirmar que hubo diferencia significativa y en consecuencia afirmando que el pH varió significativamente con respecto al tiempo de maduración, evaluado durante las primeras 48 h *post mortem*.

Los resultados de pH obtenidos para los conejos de la Línea FES presentaron una tendencia similar a los valores de pH para diferentes razas y líneas.

El pH final que se encontró fue de 5.87, lo cual concuerda con la literatura, aunque cabe aclarar que es un valor que se encuentra ligeramente por encima de lo que reportan autores como: Pascual *et. al.*, 2008 (5.65); Plá, 1999 (5.75); María *et. al.*, 2006 (5.83) y Flores-Peinado, 2009 (5.8), sin embargo no pueden ser comparados, debido a que estos estudios fueron determinados bajo otras condiciones de experimentación.

Como sabemos la variación del pH en las canales se puede atribuir al hecho de que en los primeros momentos posteriores al sacrificio la matriz proteica miofibrilar se encuentra extendida gracias a la presencia de ATP, con lo cual se ocasiona que el músculo se siga contrayendo y relajando a libertad; sin embargo, una vez que el ATP se agota, se incrementa sustancialmente la formación de ácido láctico y, por lo tanto, el pH disminuye hasta llegar a un valor mínimo que coincide con el fenómeno de rigidez cadavérica. Posteriormente, debido a la degradación enzimática de la estructura miofibrilar nuevamente se vuelve a registrar un ligero incremento en el valor del pH.

3.2. Capacidad de retención de agua

En la figura 19 se presentan los resultados de capacidad de retención de agua, donde se observa que hubo variación durante las primeras 48 horas *post* sacrificio para los animales de los distintos lotes. De hecho es posible darse cuenta de que en un principio la capacidad de retención de agua presentó los valores más altos con un porcentaje promedio aproximado de 69.5, lo que aumentó ligeramente a las 3 horas posteriores al sacrificio con un valor de 70% aproximadamente y comenzó a disminuir hasta llegar a un porcentaje final de aproximadamente entre el 40-60%. Cabe aclarar que esto sucedió en los tres lotes de animales evaluados.

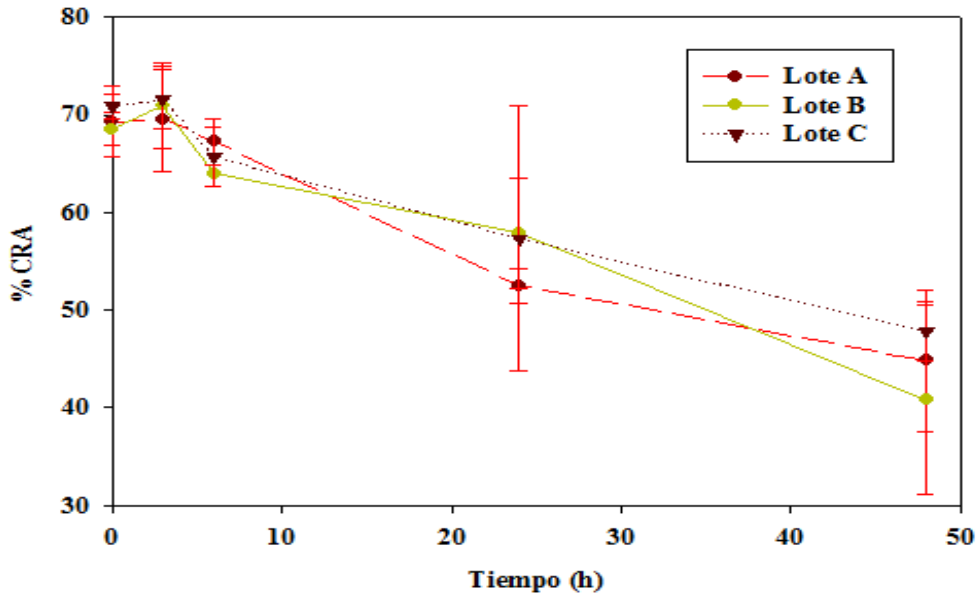


Figura 19. Variación de la CRA durante las primeras 48 h *post* sacrificio

De acuerdo con el análisis estadístico realizado se encontró que F calculada $>$ F tablas, por lo que puede deducirse que hubo una diferencia significativa y en consecuencia se rechaza la hipótesis nula, lo que significa que la capacidad de retención de agua varió con respecto al tiempo de maduración.

De acuerdo con la literatura, la capacidad de retención de agua al momento del sacrificio resulta elevada, debido a que la carga eléctrica de las proteínas y la longitud del sarcómero es mayor, es en ese momento que comienza a disminuir progresivamente hasta alcanzar un mínimo cuando se establece la rigidez cadavérica, aumentando moderadamente durante el almacenamiento, como consecuencia de la degradación enzimática de la estructura miofibrilar. Cabe destacar que los resultados obtenidos en este trabajo, no resultaron acordes del todo, sin embargo, la tendencia al descenso se mantuvo hasta las 48 h en los lotes de animales. No obstante, fue posible identificar que la capacidad de retención de agua, para los conejos de la Línea FES, fue de 44%. En la literatura se encuentran los resultados reportados por Hernández, P. 2004, (30.7%), Ramírez, 2004, (33%) y por Hernández, P. 2006 (35.5 %), sin embargo esas investigaciones no concuerdan con las condiciones de manejo de las canales, además de que la metodología experimental realizada fue llevada a cabo bajo diferentes condiciones, por lo que no es posible comparar los resultados.

3.3. Color

En la figura 20 se presentan los resultados de luminosidad, en donde se observa que en un inicio se tuvieron valores aproximado de 50, disminuyendo a 44.3 aproximadamente, hacia las 3 horas *post* sacrificio, los datos aumentaron gradualmente hasta alcanzar una máxima luminosidad de 57.6 a las 48 h. En la literatura (Fenema, 2006; Hui, 2006) se señala que esta variación puede ser atribuida a la oxidación de la mioglobina, producida por un contacto prolongado con el oxígeno, convirtiéndose en metamioglobina, con un color pardo en la carne.

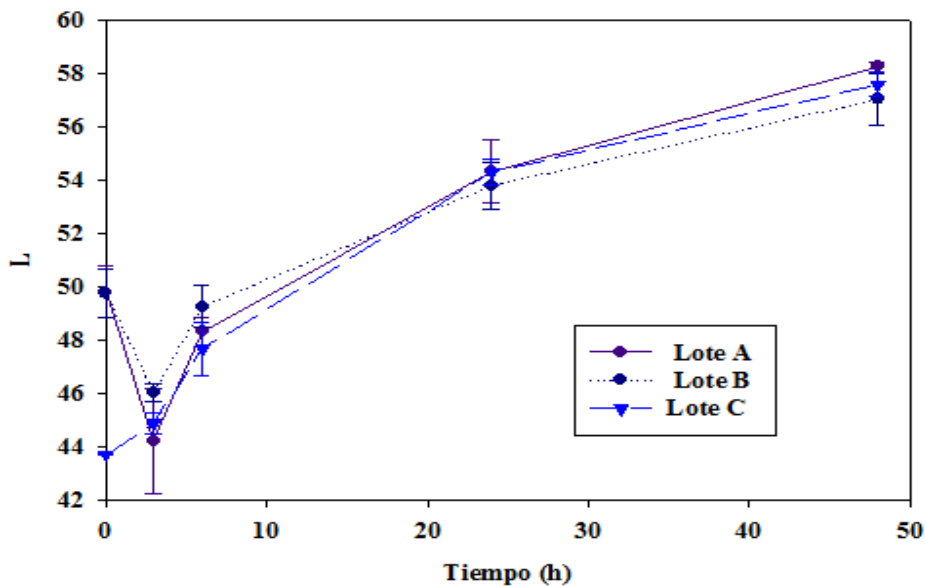


Figura 20. Variación de L durante las primeras 48 h *post* sacrificio

Los resultados de las determinaciones realizadas a los tres lotes evaluados indican un comportamiento similar para los tres lotes evaluados para cada tiempo. Del análisis estadístico realizado se encontró que F calculada $>$ F tablas, por lo que rechaza la hipótesis nula que hubo diferencia significativa entre estos valores, lo que significa que el color varía con respecto al tiempo de maduración.

En la literatura se encontraron valores de luminosidad menores con respecto a aquellos reportados por autores tales como: Flores-Peinado, 2009 (48.64); Pascual *et. al.*, 2008 (54.34); Ramírez, 2004 (54.90), sin embargo las condiciones tanto de raza como su metodología experimental fue llevada a cabo bajo diferentes condiciones, por lo que no se pueden comparar dichos resultados.

3.4. Dureza

En la figura 21 se puede observar la variación de la dureza durante las primeras 48 horas *post* sacrificio para los conejos de los tres lotes, mismos que mostraron valores muy similares entre sí. La dureza en el momento del sacrificio tuvo el valor más alto (0.03), y disminuyó progresivamente, hasta 0.003 a las 6 horas. En las siguientes 42 h se observó hasta alcanzar un valor de aproximadamente 0.005. Lo anterior puede ser atribuido a que en el sacrificio, existe la mayor contracción muscular, misma que va disminuyendo con el paso del tiempo.

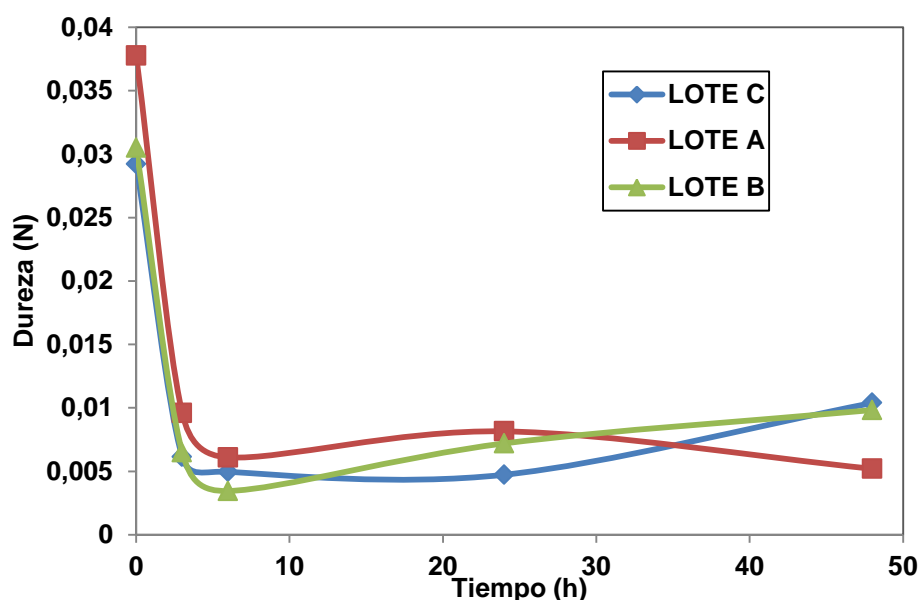


Figura 21. Variación de dureza durante las primeras 48 h *post* sacrificio

Cabe señalar que el comportamiento observado en cada uno de los lotes de animales evaluados, muestra que en un inicio se encuentra la mayor dureza, la cual debería presentarse cuando se instaurara el *rigor mortis*, puesto que es ahí cuando se da el entrecruzamiento irreversible del complejo actina-misina, sin embargo se ha comprobado que el *rigor mortis* es independiente del ablandamiento del músculo, según las investigaciones de Suárez, 2007 realizadas en carne de pescado, este comportamiento cual lo atribuye al tipo de colágeno y degradación del mismo.

De acuerdo con el análisis estadístico realizado se encontró que F calculada $>$ F tablas, por lo que hay diferencia significativa y en consecuencia se rechaza la hipótesis nula, lo que significa que la dureza varía con respecto al tiempo de maduración.

Los resultados de dureza obtenidos para los conejos de la Línea FESC son similares a los resultados de las investigaciones para las diferentes razas y líneas reportadas en la literatura, pero se muestra que la dureza de la carne de la Línea FES es menor que la reportada por diferentes autores tales como: 1.04 según María, 2006; 1.34 según, Ramírez, 2004; 2.75 según Flores-Peinado, 2009, sin embargo, es imposible compararlos debido a que las investigaciones realizadas, en cuanto a equipos y razas de animales fueron diferentes.

3.5. Actividad de agua

En la figura 22 se presentan los resultados de actividad de agua obtenidos al inicio, 3, 6, 24 y 48 h posteriores al sacrificio de los conejos de la Línea FES, mostraron, en donde se puede destacar el hecho de que la actividad de agua se encontró entre 0.90 y 0.92, lo cual indica que es un producto muy susceptible al ataque de casi todos los microorganismos, además de que tiene poca vida de anaquel, sin embargo esto pudo modificarse, debido a que para efectos de la investigación, la materia prima se mantuvo almacenada a 4 ° C y al vacío.

De acuerdo con el análisis estadístico realizado se encontró que $F_{calculada} < F_{tablas}$, por lo que no hay diferencia significativa y en consecuencia se acepta la hipótesis nula, lo que significa que la actividad de agua no varía con respecto al tiempo de maduración.

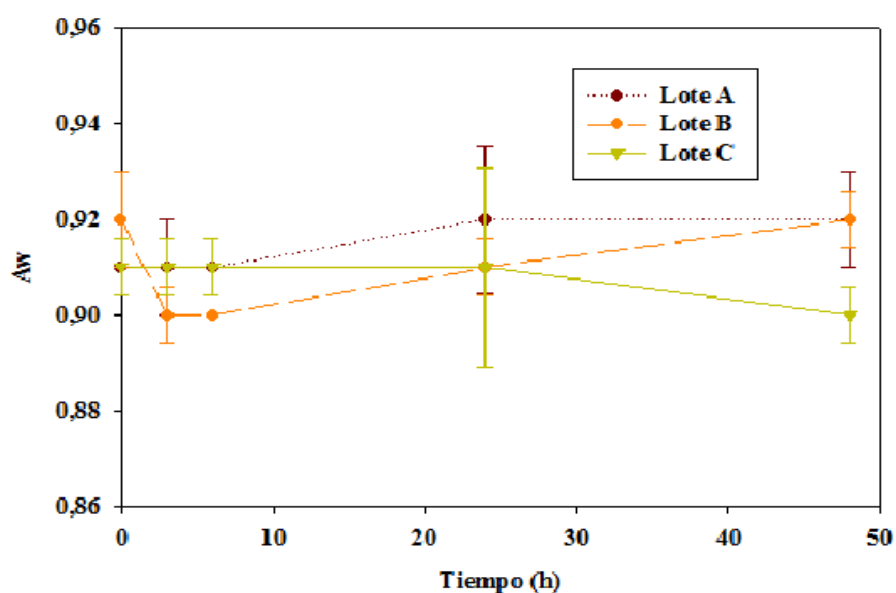


Figura 22. Variación de la Aw durante las primeras 48 h post sacrificio

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se planteó como principal objetivo evaluar el pH, la capacidad de retención de agua, el color y la dureza en el músculo *longissimus dorsi* de conejo de la Línea FES, en su transformación en carne, de acuerdo con los análisis de los resultados de dicha investigación se concluye lo siguiente:

- ✓ El pH sufre variaciones durante el proceso de maduración, en un inicio fue de 6.4, el cual disminuye hasta un valor de 5.7 alrededor de las 6 horas y posteriormente aumenta ligeramente hasta alcanzar a un valor final de 5.87 a las 48 horas posteriores al sacrificio.
- ✓ Los resultados de la CRA disminuyeron durante la maduración y alcanzó a las 48 horas *post mortem* un 40%, el cual fue superior comparando con las otras razas reportadas.
- ✓ El color de la carne se modificó durante la maduración, el cual fue aumentando, generándose la mayor luminosidad hasta las 48 horas después del sacrificio, encontrándose un resultado de 57.5.
- ✓ La dureza disminuyó con respecto del tiempo de maduración de la carne, registrándose un valor final de 0.005 N.
- ✓ La actividad de agua se encontró en un intervalo de 0.90 y 0.92, este intervalo se repitió de forma consecuyente durante el proceso de maduración de la carne.

De acuerdo con lo anterior, la carne de conejo proveniente de la línea desarrollada en la FES-Cuautitlán mejora la calidad de la misma durante la maduración, en cuanto a sus aptitudes tecnológicas.

RECOMENDACIONES

Es importante mencionar que como parte complementaria al presente trabajo, sería recomendable que se realizaran investigaciones bajo los mismos criterios, con las diferentes razas, para así poder analizar de manera sistemática los resultados obtenidos.

También se identificó la necesidad de realizar determinaciones del tipo de colágeno presente en el músculo, así como el tipo de degradación que sufre durante la maduración de la carne de conejo, para que los resultados puedan estar mejor sustentados y para aprovechar de mejor manera sus aptitudes tecnológicas.

LITERATURA CITADA

1. Amerling C. 2001. Tecnología de la carne, Mundi-Prensa, España, pp.178.
2. Apple J.K., Diekeman M.E., Minton J.E., McMrphy R.M., Fedde M.R., Leith D.E. y Unruh J.A. 1995. Effects of restrain and isolation stress and epidural blockade on endocrine and blood metabolite status, muscle glycogen metabolism, and incidence of dark-cutting *Longissimus* muscle of sheep, *J. Animal Sci.*, **73**(8):2295-2307.
3. Arcos-García G., Totosaus A., Guerrero I. y Pérez-Chabela M. 2002. Physicochemical, sensory, functional and microbial characterisation of horse meat, *Agrociencia*, **8**(1):43-46.
4. Badui S. 1993. Química de alimentos, 3ª. Ed., Pearson Educación, México, pp. 648.
5. Barrón GMC, Rico PJJ, Rosas GB, Bonilla OSL, Rodríguez HJB, Reyes GR, Cardona LA, Zamora FMM, Sandoval CHM y Rosas GME. 2007. Cinética del pH de los músculos *longissimus dorsi* y *biceps femoris* en conejos, Reunión Nacional de Investigación de Pecuaria de Sinaloa, México.
6. Beltrán F.J., 1994. Aplicación de análisis de riesgos, identificación y control de puntos críticos en el proceso de obtención, distribución y venta de carne de res y cerdo en tiendas de autoservicio y en el rastro, Secretaria de Salud, México.
7. Beltrán J.A., Bonnet M. y Ourhli A. 1992. Comparative action on cathepsin B and L on intramuscular collagen as assessed by differential scanning calorimetry, *Meat Sci.*, **32**:299-306.
8. Bianchi G., Garibotto G., Franco J., Ballesteros F., Betancur O. y Fredd O., 2008. Calidad de carne ovina: Impacto de las decisiones tomadas a lo largo de la cadena, Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, UDELAR.
9. Blas C. 1992. Factores que determinan el rendimiento y la calidad de la canal en Conejos, *Mundo Ganadero*, **7**(8):72-75.
10. Bohinski R.C. 1978. Bioquímica, Fondo Educativo Interamericano, México.
11. Bota E., Castro J. y Sancho J., 2001. Introducción al análisis sensorial de los alimentos, 2ª. Ed., Universidad de Barcelona, España, pp. 336.
12. Carballo B., López de Torre G., y Madrid A., 2001. Tecnología de la carne y de los productos cárnicos, Mundi-Prensa, España, pp.321.
13. Egan H., Kirk R. y Sawger R. 1987. Análisis químico de alimentos Pearson, 2ª. Ed., Compañía Editorial Continental S.A. de C.V., México, pp. 586.
14. Fernández- López J., Pérez- Álvarez J.A., Sayas- Barberá E. y López- Santoveña F., 2002. Effect of paprika (*Capsicum annum*) on color of spanish-type sausages during resting stage, *J. Food Sci.*, **67**:2410-2414.

15. Flores A. y Rosmini M.R. 1993. Efecto del estrés por el tiempo de espera antes del sacrificio sobre la glucemia y el pH de bovinos, *Fleischwirtschaft*, en español, **2**:16-25.
16. Flores J. y Bermell S. 1983. El músculo esquelético: Estructura y composición química, *Agroquímica y Tecnología Alimentaria*, 99-104.
17. Flores J. y Bermell S. 1984. Propiedades funcionales de las proteínas miofibrilares, *Agroquímica y Tecnología Alimentaria*, **24**(2):17-24.
18. Flores- Peinado S. 2009. Efecto del periodo de ayuno y el método de aturdimiento sobre el bienestar y características físico-químicas de la carne de conejo, UNAM, México.
19. Forrest J., Aberte E., Hendrick H., Judge M. y Merkel R. 1979. Fundamentos de la ciencia de la carne, Acribia, España, pp. 364.
20. Fox J.B., 1994. Los pigmentos de la carne: Ciencia de la carne y de los productos cárnicos, Acribia, España.
21. González-Redondo P., Camacho T. y Alcalde MJ. 2007. Capacidad de retención de agua y pH de la carne de conejos de monte procedentes de la caza, Congreso Ibérico de Cunicultura, Portugal.
22. Grandin T. 1997. Assessment of stress during handling and transport, *J. Animal Sc.*, **75**:249-257.
23. Guerrero I. 2007. Calidad de la carne, Curso-Taller: Ciencia y Tecnología de Carne, FESC, UNAM, México.
24. Guerrero I., Ponce A.E., Pérez M.L. 2002. Tecnología de carne y pescado, Curso-Taller, Unidad Iztapalapa, UAM, México.
25. Hernández P. 1996. Calidad de la carne de conejo, *Lagomorpha*, **90**:13-20.
26. Hernández P., Ariño B., Grimal A. y Blasco A. 2004. The effect of selection for growth rate and slaughter age on carcass composition and meat quality traits in rabbits, *J. Animal Sci.*, **82**:3138-3143.
27. Hernández P., Ariño B., Grimal A. y Blasco. 2006. Comparison of carcass and meat characteristics of three rabbit selected for litter size or grows rate, *Meat Sci*, **73**:645-650.
28. Huerta-Leidenz N., Atencio- Valladares O., Rodas A., Jerez- Timaure N. y Bracho B. 1997. Características de las canales de novillos y novillas acebuados producidos en pastoreo y su relación con atributos de calidad comestible de la carne, *Arch. Latinoamer. Prod. Anim.*, **5**:565-567.
29. Hui H., Guerrero., I y Rosmini M. 2006. Ciencia y tecnología de carnes, Limusa, México, pp. 634.
30. Lanari M.C., Brewster M., Yang A. y Tume R.K. 2002. Pasture and grain finishing affect the color stability of beef, *J. Food Sc.*, **67**:2467-2473.

31. Latorre R., López-Barneo J., Bezanilla F. y Linás R. 1996. Biofísica y fisiología celular, Universidad de Sevilla, España, pp. 708.
32. Lawrie R. 1985. Ciencia de la carne, Acribia, España, pp.310.
33. Llorente, A.B., 1997. Influencia del manejo de los animales antes del sacrificio en la calidad de la carne, *Lácteos y Cárnicos Mexicanos*, **12** (5):12-15.
34. López R. y Caps A. 2004. Tecnología de mataderos. Mundi-Prensa, España, pp. 403.
35. María GA., Buil T., Liste G., Villarroel M., Sañudeo C. y Olleta JL. 2006. Effects of transport time and season on aspects of rabbit meat quality, *Meat Sci.*, **72**:773-777.
36. Martínez L., Casas N., Tecante A., Ramírez E. y Delgado V. 2001. Manual de reología y textura de materiales biológicos, FESC, UNAM, México, pp. 177.
37. Méndozza E., Quiroz M. y Pacheco O. 2004. Introducción a la tecnología de alimentos, 2ª. Ed., Limusa, México, pp. 148.
38. Miller D., Herrera C., Bolaños N. y Lutz G. 2003. Química de alimentos: Manual de laboratorio, Comisión de la Universidad de Costa Rica, Costa Rica, pág. 61-66.
39. Moreno B. 2006. Higiene e inspección de carnes I, 2ª. Ed., Díaz de Santos, España, pp. 646.
40. Nelson D. y Cox M. 2001. Lehninger: Principios de bioquímica, Ediciones omega, España, pp. 1152.
41. Norma Oficial Mexicana, 1995. NOM-033-ZOO-1995. Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres, México.
42. Osborn H.M, Brown H., Adams J.B. y Ledward L.A. 2003. High temperature reduction of metamyoglobin in aqueous muscle extracts, *Meat Sci.*, **65**:631-637.
43. Pascual M., Pla M., Piquer O., Soler., Blas E. y Pascual J.J. 2008. Efecto del uso de piensos con diferentes contenido de fibra digestible y almidón sobre la composición de la canal y de la calidad de la carne de conejo, XXXIII *Symposium* de ASESCU, España, 38-31.
44. Pearson A.M. 1994. La función muscular y los cambios *postmortem*: Tecnología e higiene de la carne, 1ª ed. Acribia, España
45. Plá M. 1999. Carcass and meat quality of growing rabbits under high ambient temperature using high fat diets, En: A. Testik M Baselga. 2nd. Ed., International Conference on Rabbit Production in Hot Climates. CIHEAM-IAMZ, Adana (Turquía). Cahiers options mediterranéennes, **41**:93-98.
46. Ralston L. 1992. Avances de la Ciencia de la Carne, Acribia, España, pp. 310.

47. Ramirez J., Angeb M., Pla M., Guerrero I., Ariño B., Blasco M., Pascual M. y Gil M. 2004. Effect of selection for growth rate on biochemical, quality and textures characteristics of meat from rabbits, *Meat Sci.*, **67**:617-624.
48. Ranken M.D. 2003. Manual de la industria cárnica, Mundi-Prensa, España, pp. 201.
49. Rico P.J.L., Mercado C., Misael O., González M. y Fajardo R. 2009. “Bases morfofisiológicas y moleculares del músculo y tejidos asociados, que guardan relación con la ciencia de la carne”, Curso: Actualización en tópicos de carne y productos cárnicos, FESC, UNAM, México.
50. Rosenthal A. 2001. Textura de los alimentos: Medida y percepción, Acribia, España, pp. 299.
51. Roudot A. 2004. Reología y análisis de la textura de los alimentos, Acribia, España, pp.204
52. Rubio M.S., Delgado E.J., Iturbe F.A., Méndez R.D., Cassís L. y Rosiles R. 2005. Composition and quality of Mexican in imported retail beef in México, *Meat Sci.*, **69**:465-471.
53. SAGARPA. 2006. Manual de buenas prácticas de carne de conejo, México, pp. 60.
54. Sañudo C. 1992. La calidad organoléptica de la carne II: Especial referencia a la especie ovina, *Mundo Ganadero*, **10**: 78-86.
55. Speer N.C, Slack G. y Troyer E. 2001. Economic factors associated with livestock transportation, *J. Anim. Sci.*, **79**:166-170.
56. Torrescano G., Sánchez A., González N. y Camou J. 2008. Tecnología e ingeniería del sacrificio y su repercusión en la calidad de animales de abasto, *Nacameh*, **2**(1):78-94.
57. Valencia J. 2005. Evaluación de estimuladores productivas de tres razas de conejos: Nueva Zelanda, California, Chinchilla y la línea formada en la FES-Cuautitlán de agosto del 2002 a julio del 2003, UNAM, México.
58. Varnam A.H. y Sutherland J.P. 1998. Carne y productos cárnicos, Acribia, España.
59. Watts J.M. y Stookey J.M. 2001. The propensity of cattle to vocalize during handling and isolation is affected by phenotype, *Appl. Anim. Behav. Sci.*, **74**:81-95.

ANEXOS

Esquemas de las rutas metabólicas

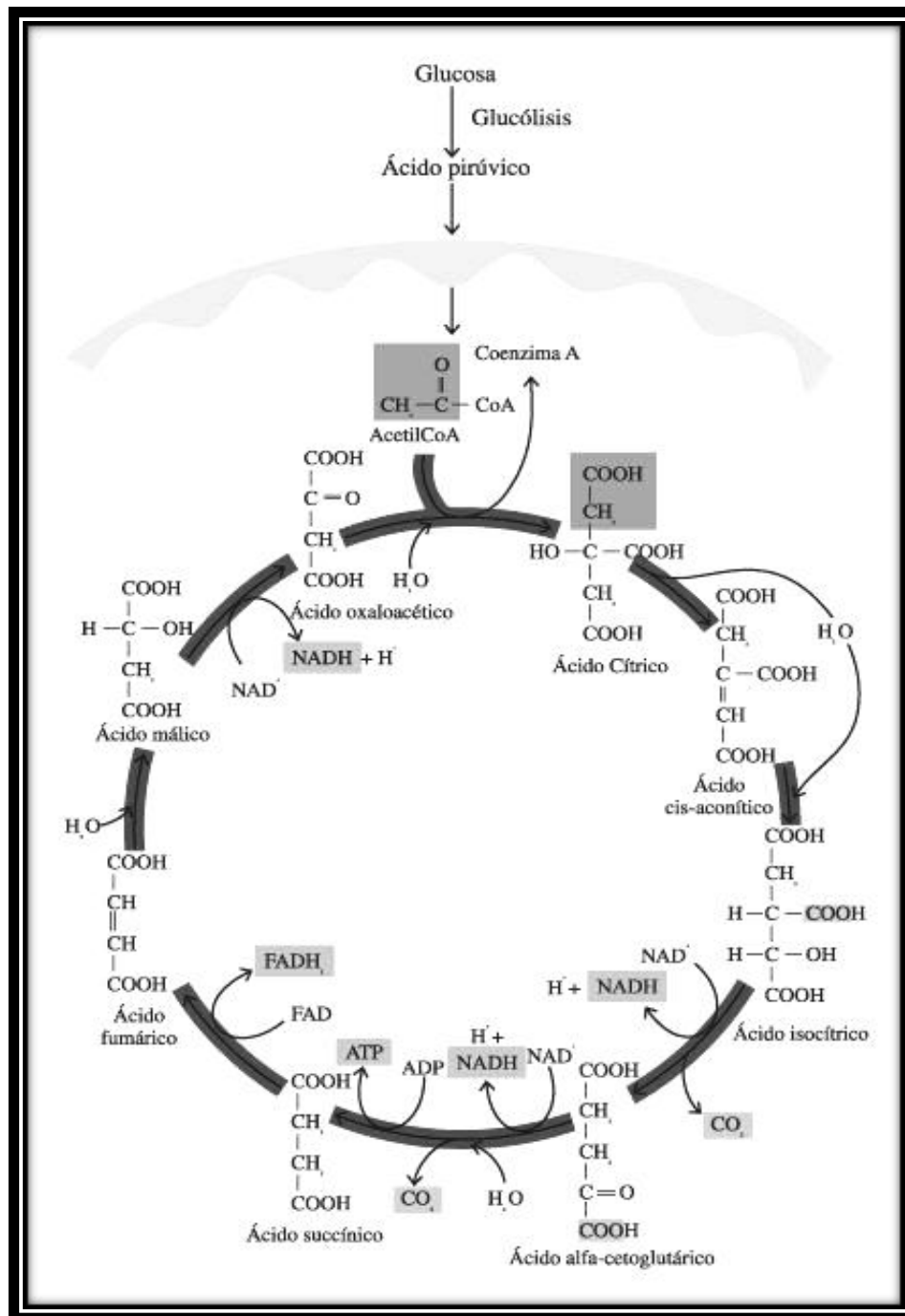


Figura 23. Diagrama de la glucólisis

Fuente: Nelson D., 2001

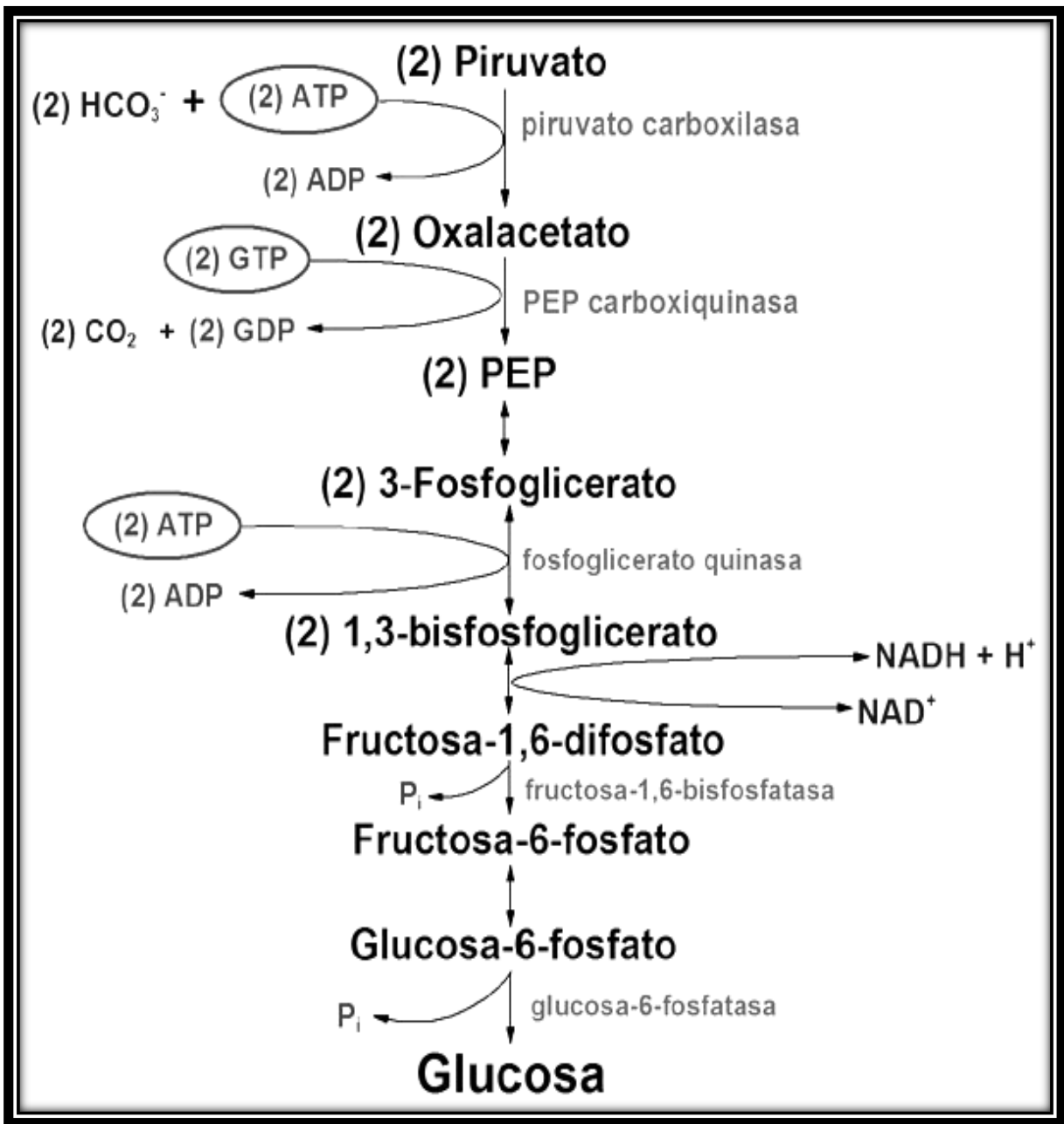


Figura 24. Etapas de la gluconeogénesis

Fuente: Nelson D., 2001