



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**ENVASADO DE CARNE DE RES FRESCA EN ATMÓSFERA MODIFICADA Y  
SU EFECTO EN LA PIGMENTACIÓN Y VIDA ÚTIL.**

## **T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

**UMBELINA MONSERRAT PÉREZ ÁVILA**

ASESOR: I.A. ALFREDO ÁLVAREZ CÁRDENAS

CO-ASESORA: DRA. MARÍA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA



Universidad Nacional  
Autónoma de México

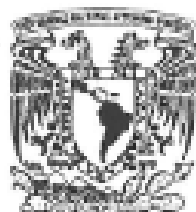


**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**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  
AVANZADA DE  
MÉXICO

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

D. N. A. A. L.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN  
ASUNTO: VOTO APROBATORIO



M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: M. EN A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO  
Jefe del Departamento de Exámenes Profesionales  
FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

**Envasado de carne de res fresca en atmósfera modificada y su efecto en la pigmentación y vida útil.**

Que presenta la pasante: Umbelina Monserrat Pérez Avila

Con número de cuenta: 306208959 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería 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 HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 02 de Julio de 2015.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	<u>I.A. Alfredo Alvarez Cárdenas</u>	
VOCAL	<u>I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa</u>	
SECRETARIO	<u>I.A. María Guadalupe López Franco</u>	
1er. SUPLENTE	<u>M. en C. Enrique Fuentes Prado</u>	
2do. SUPLENTE	<u>I.A. Arturo Munguía Sánchez</u>	

NOTA: los sindicales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional [art. 127].

## **DEDICATORIA**

*A mi mami Trinidad Pérez que siempre me ha dado lo mejor de lo mejor, iniciando por la vida, porque sabes que eres mi modelo a seguir y que admiro tu valentía. A mi papá Martín Olguín por ser parte de mi vida; a los dos por estar presentes en todo momento, por sus consejos pero sobre todo por su confianza y por creer en mí, los amo. Siempre me dijeron que la mejor herencia que me podían dejar era el estudio y concuerdo con ustedes, gracias.*

*A mis primas y primos, por desvelarse conmigo, por acompañarme en esta etapa tan importante, por hacerme reír cuando más lo necesitaba, por ser como son.*

*A mis tías y tíos por motivarme en cada momento y por creer en mí.*

*A las personas que aunque no son mi familia de sangre pero si son la familia que elegí, mis hermanos mayores. Gracias por las risas, consejos, regaños, viajes, experiencias, aprendizajes y por cada canción acompañada de emociones, por supuesto que hablo de ustedes: casita.*

*A mi amiga Sarai Ocampo, porque a pesar de la distancia, estuviste siempre presente.*

*A mis roomies, por apoyarme y motivarme, por escucharme siempre que las necesité y por ser tan lindas aún con el poco tiempo de conocerlas.*

*A esas personas que fueron parte de la etapa de la universidad.*

*A una personita que me ayudó a entender tantas cosas, gracias por todo lo aprendido y vivido en tan poco tiempo.*

## ***AGRADECIMIENTOS***

*A Dios, por estar presente en mi vida y brindarme fuerzas en cada momento difícil.*

*A la Dra. Luz Zambrano, gracias por los conocimientos compartidos, por la paciencia y por confiar en mí.*

*Al profesor Alfredo, gracias por las oportunidades brindadas y el tiempo.*

*A los sinodales por sus aportaciones en este trabajo.*

*A mis compañeros del Taller de Procesos y Sistemas Frigoríficos, por las risas, el apoyo y las comitivas realizadas. Gracias por su amistad.*

*Al Ingeniero Carlos López González de la División de Gases Especiales de INFRA S.A. de C.V. por haberme permitido trabajar en este gran proyecto y por las facilidades en el empleo de los gases para el envasado.*

*Al Ingeniero Arturo López Román, por los consejos, conocimientos y amistad. Por facilitarme las películas empleadas en la experimentación.*

*Al profesor Jonathan Coria, gracias por brindarme sus conocimientos y tiempo.*

*A los profesores, por transmitirme su experiencia y conocimientos.*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México por el orgullo de ser parte de esta gran institución y a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por ser parte de mi formación como Ingeniero en Alimentos.*

Se Agradece a INFRA S. A. DE C.V. el interés para la realización de la investigación, así como el soporte técnico y los gases que aportó para el desarrollo del proyecto

El presente trabajo fue financiado por los proyectos

PAPIME PE103915: Diseño y construcción de equipos didácticos para mejorar la enseñanza de los procesos y sistemas Frigoríficos de la DGAPA-UNAM

PAPIME PE206614: Implementación de técnicas y métodos de enseñanza para la aplicación de nanotecnología en la conservación de alimentos a bajas temperaturas, sometidas a procesos térmicos y de transferencia de masa, de la Dirección de Asuntos del Personal académico de la UNAM.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	
<b>CAPÍTULO I. ANTECEDENTES</b>	
1.1 Definición de la carne	1
1.1.1 Composición de la carne	1
1.1.2 La estructura del músculo	2
1.1.3 Transformación del músculo en carne	3
1.1.3.1 Manipulación antes del sacrificio	4
1.1.3.2 Muerte del animal	4
1.1.3.3 Paro circulatorio muscular	5
1.1.3.4 Rigor mortis	6
1.1.3.5 Maduración	9
1.1.3.6 Acortamiento por el frío	9
1.1.4 Cambios del aspecto físico del músculo	10
1.2 Envasado de carne a vacío y en atmósferas modificadas	11
1.2.1 Conservación de la carne envasada a vacío	11
1.2.2 Conservación de la carne en atmósferas modificadas	12
1.2.2.1 Principio del envasado en atmósfera modificada (MAP)	12
1.2.2.2 Gases empleados en el envasado en atmósferas modificadas	12



1.2.2.3 Relación gas/producto	16
1.2.2.4 Ventajas y desventajas de uso de envasado en atmósferas modificadas	16
1.2.2.5 Películas utilizadas en MAP	17
1.2.2.6 La refrigeración como complemento de las atmósferas modificadas	21
1.3 Parámetros de calidad de la carne	22
1.4 Color	24
1.4.1 Color en la carne	24
1.4.1.1 Pigmentos de la carne	25
1.4.1.2 Estructura de la mioglobina	25
1.4.1.3 Química de la mioglobina	26
1.4.2 Factores que afectan el color de la carne fresca	30
1.4.3 Medida del color de la carne	30
1.4.3.1 Teoría del color	30
1.4.3.2 Espacios de color y equipos de medición	35
1.5 Textura	39
1.5.1 Métodos de evaluación de textura en alimentos	41
1.5.1.1 Propiedades mecánicas	42
1.5.2 Prueba de compresión	43
1.5.3 Prueba de punción	44
1.6 Capacidad de retención de agua	44
1.6.1 Factores que influyen en la capacidad de retención de agua de la carne	47
1.6.2 Técnicas para medir la retención de agua en la carne	49
1.7 El pH en la carne	51

1.7.1 Técnicas para medir el pH en la carne	52
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL</b>	
2.1 Objetivos	53
2.2 Justificación de variables	53
2.3 Materiales	56
2.3.1 Reactivos	56
2.3.2 Material biológico	56
2.3.3 Material de envase	56
2.4 Métodos	57
2.4.1 Acondicionamiento del equipo frigorífico	57
2.4.2 Preparación de la carne	57
2.4.3 Envasado de la carne	57
2.4.4 Determinación del color	59
2.4.5 Determinación del Ph	61
2.4.6 Determinación de la capacidad de retención de agua (CRA)	61
2.4.7 Prueba de resistencia a la punción	62
2.4.8 Análisis estadístico	63
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
3.1 Acondicionamiento del equipo frigorífico	64
3.2 Determinación del color	65
3.2.1 Determinación del color mediante cámara oscura	66
3.2.1.1 Valores de a <sup>*</sup>	66
3.2.1.2 Valores de b <sup>*</sup>	68
3.2.1.3 Luminosidad	69
3.2.1.4 Croma	72

3.2.1.5 Ángulo Hue	79
3.2.2 Determinación del color mediante colorímetro	76
3.2.2.1 Valores de a *	76
3.2.2.2 Valores de b *	78
3.2.2.3 Luminosidad	79
3.2.2.4 Croma	82
3.2.2.5 Ángulo Hue	83
3.3 Medición de pH	85
3.4 Capacidad de retención de agua	87
3.5 Medición de la textura (prueba de punción y porcentaje de deformación según dureza)	88
<b>CONCLUSIONES</b>	95
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>	
Figura 1	La estructura muscular de la carne	2
Figura 2	Consecuencias del paro de la circulación en el músculo <i>post-mortem</i>	7
Figura 3	Molécula de la mioglobina	25
Figura 4	Representación esquemática del complejo hemo de la mioglobina	26
Figura 5	Relación química entre los pigmentos de la carne	28
Figura 6	Color aparente de la carne	29
Figura 7	Representación del color sólido para CIE L <sup>*</sup> a <sup>*</sup> b <sup>*</sup>	32
Figura 8	Corte del espacio L <sup>*</sup> a <sup>*</sup> b <sup>*</sup> a un valor específico de L <sup>*</sup>	33
Figura 9	Espacio tridimensional de los atributos de color	37
Figura 10	Ilustración de la medición de un colorímetro triestímulo	38
Figura 11	Representación esquemática de un ensayo de compresión	43
Figura 12	Representación esquemática de un ensayo de punción	44
Figura 13	a)Equipo MULTIVAC b) Equipo mezclador de gases Dansensor <sup>®</sup> c) Carne envasada en atmósfera modificada	59
Figura 14	Almacenamiento de la carne	59
Figura 15	Adaptación de la cámara oscura para la medición del color	60
Figura 16	Medición de color en el colorímetro Minolta-CM5	61
Figura 17	Texturómetro Brookfield <sup>®</sup> CT3 realizando prueba de compresión	62
Figura 18	Texturómetro Brookfield <sup>®</sup> CT3 realizando prueba de punción	63
Figura 19	Registro de temperaturas del equipo frigorífico empleado para el almacenamiento de la carne	64

Figura 20	Valores de $a^*$ en carne en función a los factores de concentración de gases y tiempo de almacenamiento (cámara oscura)	67
Figura 21	Valores de $b^*$ en carne en función a los factores de concentración de gases y tiempo de almacenamiento (cámara oscura)	70
Figura 22	Luminosidad en carne en función a los factores de concentración de gases y tiempo de almacenamiento (cámara oscura)	72
Figura 23	Cromaticidad en carne en función a los factores de concentración de gases y tiempo de almacenamiento (cámara oscura)	74
Figura 24	Ángulo Hue en carne en función a los factores de concentración de gases y tiempo de almacenamiento (cámara oscura)	75
Figura 25	Valores de $a^*$ en carne en función a los factores de concentración de gases y tiempo de almacenamiento (colorímetro)	77
Figura 26	Valores de $b^*$ en carne en función a los factores de concentración de gases y tiempo de almacenamiento (colorímetro)	79
Figura 27	Luminosidad en carne en función a los factores de concentración de gases y tiempo de almacenamiento (colorímetro)	80
Figura 28	Cromaticidad en carne en función a los factores de concentración de gases y tiempo de almacenamiento (colorímetro)	83
Figura 29	Ángulo Hue en carne en función a los factores de concentración de gases y tiempo de almacenamiento (colorímetro)	84
Figura 30	pH en carne en función a los factores de concentración de	86

	gases y tiempo de almacenamiento	
Figura 31	Porcentaje de CRA en carne en función a los factores de concentración de gases y tiempo de almacenamiento	88
Figura 32	Porcentaje de agua drenada en carne en función a los factores de concentración de gases y tiempo de almacenamiento	89
Figura 33	Dureza en carne en función a los factores de concentración de gases y tiempo de almacenamiento	90
Figura 34	Cambios de dureza durante el almacenamiento	91
Figura 35	Deformación según dureza (%) de las muestras de carne de res	93

## ÍNDICE DE TABLAS

		<b>Página</b>
Tabla 1	Principales características de los polímeros más utilizados en envases empleadas en MAP	18
Tabla 2	Variables y condiciones experimentales durante el almacenamiento de la carne	55
Tabla 3	Mezcla de gases en el envasado de carne de res fresca	58
Tabla 4	Valores de color del espacio CIELAB de diferentes músculos de carne de res fresca	65
Tabla 5	Valores promedio de la coordenada $b^*$ en el corte <i>longissimus dorsi</i> (solomo) de carne de bovino Cebú	69
Tabla 6	Valores promedio de la coordenada $L^*$ en el corte <i>longissimus dorsi</i> (solomo) de carne de bovino Cebú	81

## RESUMEN

Una forma común de la comercialización de la carne es el envasado a vacío; una desventaja es que aparece un color púrpura en la superficie que no es aceptado por el consumidor; esto ha llevado a la búsqueda para preservar el color rojo cereza de la carne prolongando su vida útil sin afectar sus características. Como respuesta a dicha búsqueda se ha encontrado que el Monóxido de Carbono (CO) puede ayudar a mantener el color rojo de la carne sin afectar sus propiedades. Además de utilizar el CO, otro de los gases que se pueden emplear en las atmósferas modificadas para seguir innovando es el Ar como sustitución del N<sub>2</sub>. El objetivo de este trabajo fue el evaluar el efecto del envasado sobre la pigmentación y vida útil de la carne de res fresca, almacenada durante 15 días. Las muestras de carne se envasaron en atmósfera modificada (MAP) con diferentes concentraciones de gases Argón 1=0.1% CO/ 30% CO<sub>2</sub>/ 69.90% Ar, Argón 2=0.5% CO/ 30% CO<sub>2</sub>/ 69.50% Ar, Argón 3=1% CO/ 30% CO<sub>2</sub>/ 69.00% Ar y Tradicional=0.4% CO/ 30% CO<sub>2</sub>/ 69.60% N<sub>2</sub> y se compararon con los tratamientos testigos (Refrigeración y Vacío). Todos los tratamientos fueron envasados en bolsas tipo *pouch* que tenían un material laminado (*nylon*, polietileno y etilen vinil alcohol) CRYOVAC<sup>®</sup> con barrera al oxígeno. Para el color se midieron las coordenadas L\*, a\* y b\*, con el que se obtuvieron la cromaticidad y el ángulo Hue y así se determinaron las diferencias de color en los distintos tratamientos; con la medición de la CRA, el pH y la dureza se observaron si las diferentes concentraciones de gases influyeron en dichas determinaciones. Las muestras de carne envasadas con CO/CO<sub>2</sub>/Ar y CO/CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> mostraron mejores resultados que los tratamientos testigos, esto debido a que el CO interactuó con la mioglobina de la carne formando carboximioglobina, siendo más estable que la oximioglobina (tratamiento de refrigeración) resultando un color rojo cereza a diferencia del envasado a vacío que da un color púrpura.



## INTRODUCCIÓN

El envasado de cortes de carne se realiza para retrasar el deterioro, permitir cierta actividad enzimática para mejorar la ternura, reducir la pérdida de peso, y, en su caso, para asegurar una oximioglobina o color rojo cereza en carnes rojas para su venta a detalle. La vida útil es el máximo tiempo de almacenamiento antes de que la carne pierda su calidad nutricional, sensorial y de seguridad alimenticia al nivel de ser rechazada por los consumidores. En este sentido, las características microbiológicas y sensoriales del producto son determinantes (Aspé y col., 2008).

El envasado a vacío ha sido tradicionalmente utilizado para prolongar la vida útil y la palatabilidad de la carne durante largos períodos de almacenamiento, debido a que en este formato se elimina el oxígeno, el color de la carne es más estable y se inhibe el crecimiento de las bacterias aeróbicas, sin embargo, los consumidores prefieren la apariencia de la carne oxigenada brillante en comparación con la carne más oscura a vacío (Brody, 1993).

El color de la carne juega un papel fundamental en la relación calidad-apariencia que el consumidor establece al elegir uno u otro producto. Así, resulta imprescindible la continua búsqueda de sistemas de envasado de carne innovadores, con el objetivo de colocar un producto en un mercado ya consolidado.

En la actualidad, una de las alternativas de envasado de carne destinada al mercado minorista es el envasado en atmósfera modificada (MAP, por sus siglas en inglés de *Modified Atmosphere Packaging*) que consiste en envasar alimentos en una atmósfera con composición distinta a la del aire (Aspé y col., 2008).

El envasado es una de las principales formas de atraer la atención del consumidor y por ende es un aspecto que debe de ser considerado durante la producción. En un alimento perecedero como lo es la carne, el envasado favorece el mantenimiento de la frescura del producto durante largos periodos de tiempo.

La mayoría de las carnes procesadas y las carnes rojas son ahora envasadas en el matadero y distribuidas al supermercado tanto por criterios económicos como por la mejor capacidad del matadero de proporcionar un mejor envasado.

El desarrollo de películas flexibles y del envasado en atmósferas modificadas para conservar productos cárnicos constituye uno de los mayores logros de la tecnología de los alimentos. En los últimos 20 años se han realizado relevantes mejoras en cuanto a materiales y sistemas de envasado. Es obligado un conocimiento básico de la función del envase, de cómo protege al producto y mantiene la calidad natural y extiende su vida media, y de los materiales utilizados en el sistema de envasado diario (Price y Schweigert, 1994).

Los pigmentos de la carne están formados en su mayor parte por dos proteínas, la hemoglobina que es el pigmento sanguíneo y la mioglobina, el pigmento muscular (Fernández, 2007). Respecto al color rojo de la carne, éste depende fundamentalmente del estado de oxidación de la mioglobina (MB), la cual representa del 80% al 90% de los pigmentos de la carne (SCF, 2001). La mioglobina es una proteína globular que posee un centro activo protohemo (protoporfirina ferrosa IX), que es responsable del enlace  $O_2$ -MB y sus funciones son almacenar y facilitar la difusión del oxígeno desde los capilares a la mitocondria; por ello es capaz de asociarse y disociarse rápidamente con la molécula de  $O_2$ , en función de la presión parcial a la que esté expuesta la carne.

Una alternativa para mejorar tanto la calidad sensorial como la vida útil microbiológica de la carne es el uso del CO en atmósferas modificadas.

El uso del CO en mezclas con CO<sub>2</sub> y ausencia de O<sub>2</sub> en MAP, ha sido aceptado por la FDA U.S.A. y ha demostrado reducir el deterioro por oxidación de lípidos y proteínas, retardar el desarrollo de los microorganismos responsables de la descomposición de la carne y generar un color más estable en el producto (SCF, 2001). El CO se liga al sitio de unión libre en el Fe- átomo del grupo hemo para formar la estructura carboximioglobina y así formar el color rojo-cereza. Entre los nuevos gases de mayor posibilidad de aplicación en el envasado de carne fresca, destaca el argón (Ar), muy similar químicamente al nitrógeno pero con ciertas ventajas que pueden hacerlo preferible a éste (Andrés y col., 2008). Es por esto que es esencial la implementación de nuevos gases así como el estudio de la optimización de la concentración de estos y lograr obtener un color aceptable para el consumidor (Aspé y col., 2008).

## CAPÍTULO I

### ANTECEDENTES

#### 1.1. Definición de carne

La carne se define como la estructura compuesta por fibra muscular estriada, acompañada o no de tejido conjuntivo elástico, grasa, fibras nerviosas, vasos linfáticos y sanguíneos, de las especies de los animales autorizadas para el consumo humano (NOM-194-SSA1-2004), y la carne fresca es la que, aparte de haber sido refrigerada, no ha recibido, a los efectos de su conservación, otro tratamiento que el envasado protector y que conserva sus características naturales (OMS, 2009).

##### 1.1.1. Composición de la carne

La carne se compone de:

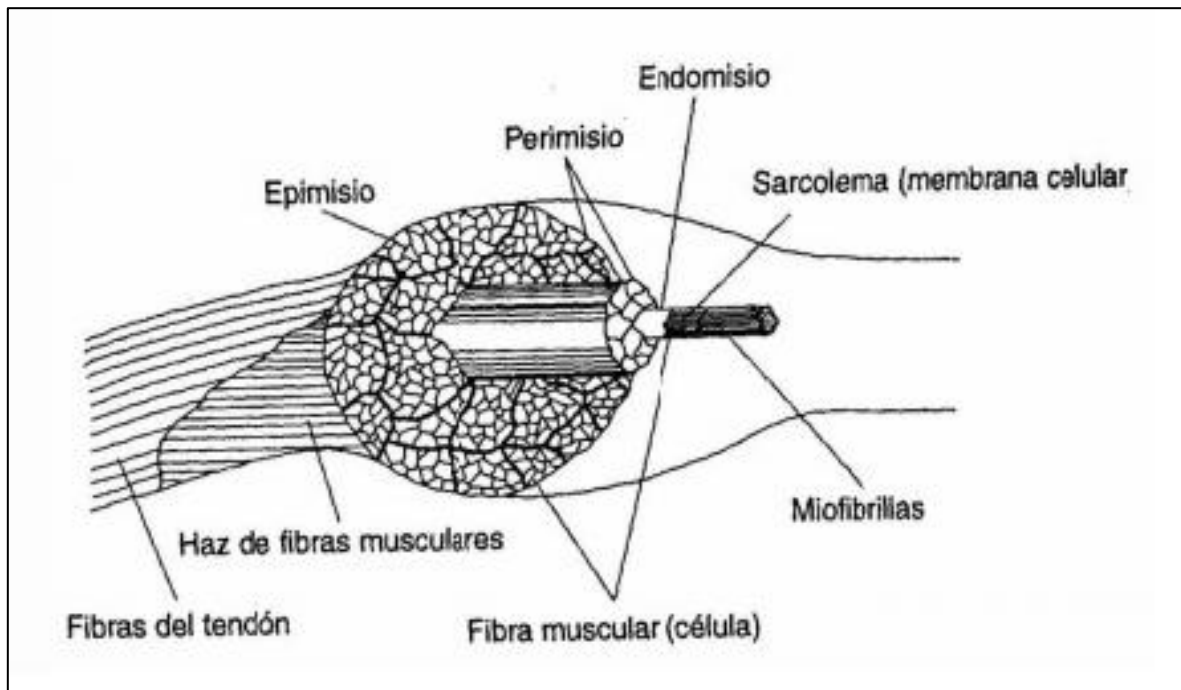
- 10% de un mecanismo contráctil consistente en proteína miofibrilar (actina, miosina, etc.) en forma de múltiples fibrillas, fibras y haces de fibras.
- 2% de tejido conectivo consistentes en tubos ligeros o redes de colágeno y elastina que encierra cada uno de los mecanismos contráctiles.
- 84.5% de sarcoplasma que es un fluido que rodea al tejido conectivo. El sarcoplasma está compuesto de agua 75%, proteína sarcoplásmica 6% y

otras sustancias solubles, tales como mioglobina (color rojo), sales, vitaminas, etc.

- 3.5% de grasa, tendones, nervios, vasos sanguíneos, etc. (Ranken, 2003).

### 1.1.2. La estructura del músculo

Cada músculo se halla cubierto por una lámina de tejido conectivo denominada *epimisio* (Figura 1). De la superficie interna del *epimisio* parten septos de tejido conectivo que penetran en el músculo separando en haces las fibras musculares de 1 mm de diámetro. Las fibras musculares pueden situarse paralelas u oblicuas, a la dirección del músculo. Esto está determinado por el tamaño del músculo y su localización anatómica. Los septos, que contienen los vasos sanguíneos y nervios de mayor tamaño, constituyen el *perimisio*.



**Figura 1.** La estructura muscular de la carne (Varnam y Sutherland, 1995).

A partir del perimio, y dirigiéndose hacia la parte interna, nace un fino retículo de tejido conectivo que rodea a cada fibra muscular individual que se denomina endomisio o tejido conectivo endomisial. Los capilares sanguíneos y las conexiones nerviosas para el funcionamiento muscular *in vivo* se encuentran en esta envoltura de tejido conectivo. La superficie de las fibras musculares se conoce como *sarcolema*. Está formado por tres capas: una red externa de colágeno, una capa media amorfa y una membrana plasmática interna. Todos los componentes celulares están bañados por el sarcoplasma semifluido, que contiene los componentes solubles, como mioglobina, algunas enzimas y algunos intermediarios metabólicos (Celis, 2007; Lawrie, 1998).

Las fibras están principalmente compuestas por miofibrillas situadas muy próximas unas al lado de otras. Las miofibrillas representan aproximadamente 80% del volumen total de la célula muscular. Estas son el aparato contráctil del músculo. Las fibras blancas (w) contienen miofibrillas separadas sólo por los canales formados por membranas del retículo sarcoplásmico, donde se almacena calcio. Sólo están presentes unas pocas mitocondrias. Por el contrario, las fibras rojas ( $\beta$ R) contienen mitocondrias situadas entre las miofibrillas adyacentes (Celis, 2007).

### **1.1.3. Transformación del músculo en carne**

Se conocen un número grande de variantes que influyen la calidad de la carne y que se sabe que son debidas a los cambios que acontecen después del sacrificio animal. La musculatura animal no cesa bruscamente todas sus funciones vitales y se convierte de golpe en carne, por el contrario, durante un periodo de varias horas, o incluso días, aparecen una serie de cambios físicos y químicos, a este conjunto de cambios es a lo que se denomina conversión del músculo en carne (Forrest, 1979). La conversión del músculo en carne marca la transición desde el animal vivo hasta el alimento (Varnam y Sutherland, 1995).

### **1.1.3.1 Manipulación antes del sacrificio**

La *homeostasis* consiste en un sistema de controles y equilibrios que proporciona al organismo medios para enfrentarse a los agentes estresantes que tienden a deteriorar el ambiente interno; es por esto que la homeostasis es de interés durante la conversión del músculo en carne debido a que muchas de las reacciones y cambios que tienen lugar durante esta conversión son consecuencia directa de la homeostasia (intentos de conservar la vida) y las condiciones del período inmediatamente anterior al sacrificio pueden modificar los cambios musculares *post-mortem* y afectar la calidad de la carne (Forrest, 1979).

El estado de los animales puede cambiar considerablemente durante el corto período de tiempo (a lo sumo unos días) que transcurre desde el momento en que alcanzan el peso deseado por el productor y el momento del sacrificio, tanto si se transportan al matadero en vehículos como si se conducen por su propio pie. En ambos casos pierden peso y sufren lesiones. Si estos se transportan en vehículos pueden ocurrir además casos de asfixia por ventilación insuficiente (Lawrie, 1998).

Se sabe que cuando el ganado vacuno se transporta sin recibir alimento se produce una pérdida de peso y que el ayuno reduce la reserva muscular de glucógeno (Lawrie, 1998).

### **1.1.3.2 Muerte del animal**

Para que la carne que se obtenga sea de buena calidad y conservabilidad es necesario extraer de la canal tanta sangre como sea posible (Forrest, 1979), ya que en otro caso la sangre residual determina un aspecto desagradable y además constituye un excelente medio de cultivo para los microorganismos (Lawrie, 1998). El desangrado marca el comienzo de una serie de cambios *post-mortem* del músculo. Se sabe que únicamente se extrae del organismo el cincuenta por ciento aproximadamente del volumen sanguíneo total (Forrest, 1979).

### 1.1.3.3 Paro circulatorio muscular

Al llevar a cabo el sacrificio de los animales se inician una cascada de eventos que permitirán la transformación final del músculo en carne (Figura 2), la velocidad e intensidad de las modificaciones experimentadas a consecuencia del paro circulatorio diferirán de unos músculos a otros (Lawrie, 1998). La función del sistema circulatorio consiste en transportar los nutrientes esenciales para el músculo y en eliminar los productos de desecho, el desangrado elimina esta línea de comunicación entre el músculo y su ambiente externo (Forrest, 1979).

Inicialmente, el paro circulatorio reduce el transporte de oxígeno a la célula, lo que favorece que se instale la glucólisis anaerobia con la conversión de glucógeno que es la principal reserva de energía en el músculo en ácido láctico (Varnam y Sutherland, 1995).

La formación de ácido láctico ocurre por una acción enzimática, según la concentración de glucógeno en el músculo y esto a su vez, es función de las condiciones de manejo del ganado previas al sacrificio (Forrest, 1979). La acumulación del ácido láctico en el músculo *post-mortem*, se relaciona con la velocidad de descenso de pH, a mayor concentración de ácido láctico menor es el valor final que se obtiene, el pH del músculo en el momento del sacrificio es de 7, hasta llegar, aproximadamente a 5.5 (Visier y Consellon, 1980).

Valores reducidos de pH afectan la evolución de las características físicas (formación de enlaces actina-miosina y color) y funcionales (capacidad de retención de agua). Además, según las condiciones sanitarias *ante-mortem* y *post-mortem* se tendrá un aumento en el crecimiento de microorganismos (Fennema, 1996; Forrest, 1979; Lawrie, 1998).

En la Figura 2, se muestran los eventos que suceden a partir del paro circulatorio; en esta figura se observa que al morir el animal, aunque el músculo no se contrae

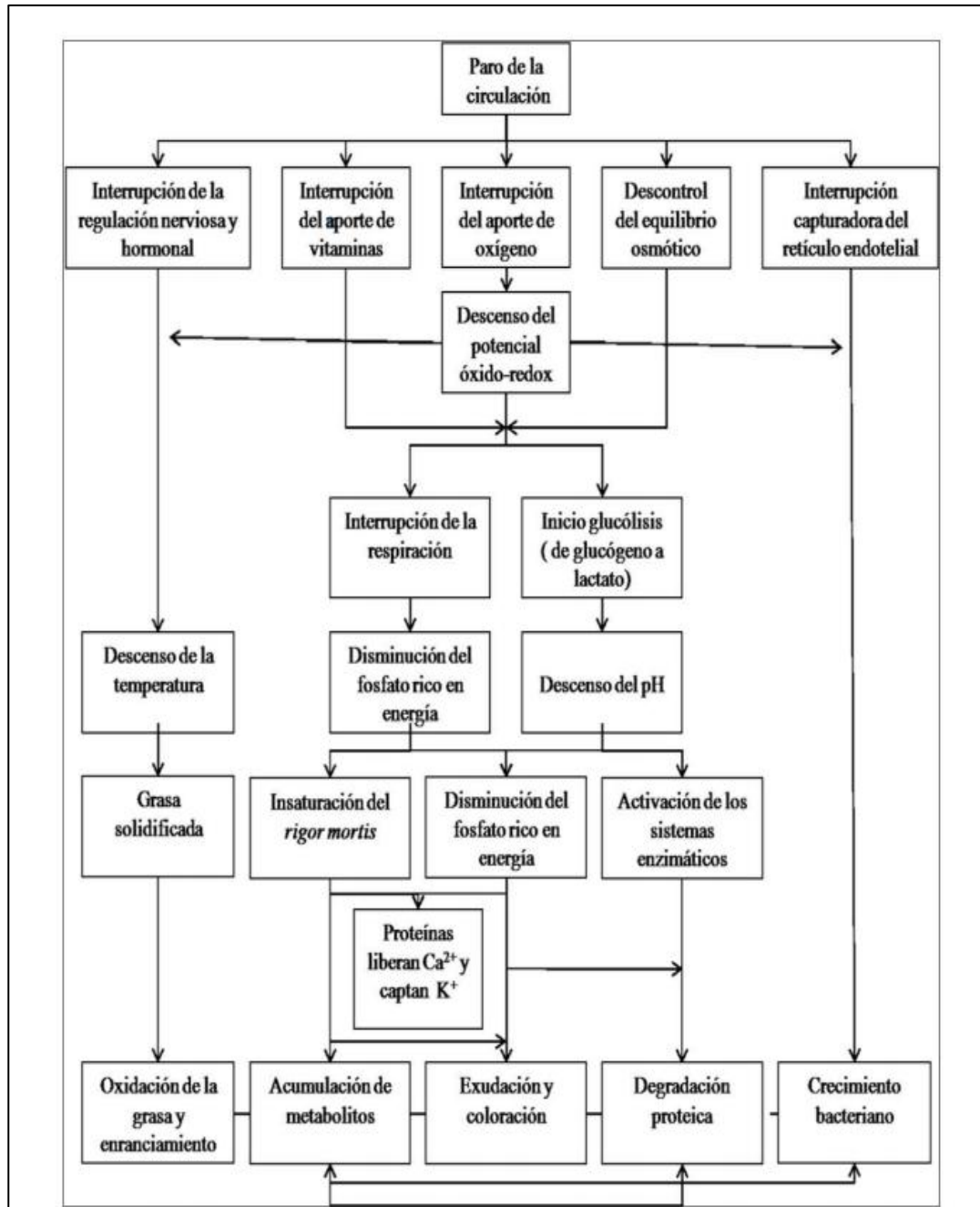


activamente, la energía se sigue utilizando para mantener su temperatura y la integridad orgánica celular frente a su espontánea tendencia al caos degradativo. Una de las enzimas afectadas en el proceso es la activación de la ATP-asa no contráctil de la miosina, en vez de la ATP-asa contráctil de la actomiosina. El cambio más inmediato al desangramiento es la interrupción del aporte de oxígeno sanguíneo a los músculos, con la consiguiente caída del potencial de oxidación-reducción. Un resultado es que el sistema enzimático citocromo no puede operar imposibilitándose la resíntesis del ATP a partir de esta fuente. La operación continuada de la ATP-asa no contráctil de la miosina reduce progresivamente el nivel de ATP produciendo simultáneamente fosfato inorgánico, que estimula la degradación del glucógeno a ácido láctico. La insuficiente resíntesis de ATP por glucólisis anaeróbica es incapaz de mantener el nivel de ATP y, a medida que desciende, se forma actomiosina determinante de la inextensibilidad del rigor (detallado en 1.1.3.4) (Forrest, 1979).

#### **1.1.3.4. Rigor mortis**

El *rigor mortis* o rigidez cadavérica se caracteriza por la presencia de enlaces cruzados entre los filamentos de actina y miosina. Con la disminución de la cantidad de ATP en el músculo *post-mortem* se favorece la formación del complejo de actomiosina. Esto ocurre en dos fases, la de retardo y la de presentación. La de retardo se caracteriza por la extensibilidad y elasticidad del músculo *post-mortem*, inmediatamente después del sangrado. La fase de presentación inicia cuando en el músculo *post-mortem* es insuficiente el ATP para una relajación sostenida, lo que ocasiona la formación del complejo actomiosina con una marcada pérdida de la extensibilidad del músculo (Belitz y col., 2004; Fennema, 1996; Teira, 2004).

El pH del músculo vivo es de 7.0, luego del sacrificio el pH desciende rápidamente, este descenso está relacionado con la acumulación de lactato en el músculo hasta niveles de 5.7-5.8. Las enzimas responsables de la formación de



**Figura 2.** Consecuencias del paro de la circulación en el músculo *post mortem* (Modificado de Lawrie, 1998).

los productos de la glucólisis se desnaturalizan progresivamente a medida que el pH sigue descendiendo (en torno a pH 5.5). Cuando el pH alcanza valores cercanos a 5.5, las proteínas del músculo empiezan también a sufrir modificaciones que alteran sus propiedades funcionales, ya que la mayoría de

estas proteínas tienen sus puntos isoeléctricos en pH a 5.5. Esta desnaturalización de las proteínas del músculo hace que desaparezcan las interacciones proteína-agua y se favorezcan las interacciones proteína-proteína que afectan la capacidad de retención de agua.

Después de la muerte, el enfriamiento controla el descenso del pH y evita la desnaturalización de las proteínas de la carne y así aumenta la capacidad de retención de agua y disminuye el ataque por microorganismos. Si no se enfría rápidamente, el pH desciende rápido y puede romper la estructura de las fibras musculares y una gran parte del agua del gel miofibrilar se expulsa hacia los espacios intercelulares o se exude fuera del tejido, con lo que la textura de la carne se modifica. En casos de que el pH del músculo baje más rápidamente que lo normal, el músculo seguramente resultará pálido, suave y exudativo (PSE). El otro extremo de calidad es el producto oscuro, firme y seco (DFD), el cual ocurre más en la carne de res (UNAD, 2008a).

- Carne PSE

Prandl y col., (1994) definen que la carne PSE es aquella que es pálida (pale), blanda (soft) y exudativa (exudative). Si el pH baja muy rápidamente (siendo adecuado el suministro de glucógeno, a causa de la excitación nerviosa en el momento del sacrificio, especialmente en los animales susceptibles al estrés (cerdos), el resultado es un bajo valor de pH (no anormalmente bajo, pero alcanzado rápidamente mientras la canal está todavía caliente). Esto conduce a la precipitación de las proteínas solubles (proteínas sarcoplásmicas), a una pobre ligazón de agua y a un color pálido (Ranken, 2003). La carne de vacuno no presenta problemas PSE debido a la lenta velocidad de acidificación (UNAD, 2008b).

- Carne DFD

El término DFD corresponde al aspecto oscuro (dark), firme (firm) y seco (dry) (Prandl y col., 1994). Si el suministro de glucógeno es bajo, a causa del hambre (inanición), ejercicio (agotamiento) o estrés, a largo plazo en el animal vivo se puede formar poco ácido láctico y el pH final es alto. Esto conduce a que la carne tenga un color más oscuro, textura más cerrada y mejor ligazón del agua, pero la calidad microbiológica es inferior. Otros nombres para este estado es “corte oscuro” en vacuno y “vidriado” en tocino (Ranken, 2003).

### 1.1.3.5. Maduración

Al final de *rigor-mortis*, en el músculo *post-mortem*, se inicia la degradación del complejo actomiosina por la acción de los sistemas enzimáticos de las fibras musculares, proceso en la carne conocido como maduración, el cual se desarrolla de forma natural durante el almacenamiento de la canal en condiciones de refrigeración y que favorece el desarrollo de la ternura, sabor y aroma de la carne (Forrest, 1979; Lawrie, 1998).

### 1.1.3.6. Acortamiento por frío

La carne de vacuno y de ovino que ha sido almacenada, en los primeros procesos *post-mortem*, a una temperatura inferior a los 14°C, presenta una fuerte predisposición a la contracción muscular (acortamiento por el frío). El acortamiento por el frío es tanto más intenso cuanto más se acerca esta a la temperatura de almacenamiento del punto de congelación y siempre que la carne se encuentre en estado *pre-rigor*. La musculatura roja (más rica en mioglobina) es más propensa a sufrir este proceso que la blanca (pobre en mioglobina) (Prandl y col., 1994).

El acortamiento por frío se puede producir cuando la temperatura del músculo de la canal desciende hasta los 15°C antes que ocurra el *rigor mortis*, lo que genera el aumento de la contracción por la liberación de calcio al sarcoplasma, como respuesta a la falta de oxígeno *post-mortem*; esta condición se presenta principalmente en canales de bovinos y ovinos (Belitz y col., 2004; Forrest, 1979; Lawrie, 1998; Teira y col., 2006).

#### 1.1.4. Cambios del aspecto físico del músculo

- **Color**

La musculatura de los animales vivos, con un aporte de oxígeno suficiente, tiene un aspecto rojo brillante; si el músculo fuera deficitario en oxígeno su aspecto sería rojo más oscuro o púrpura. Después del sacrificio, cuando se ha consumido el oxígeno, los músculos tienen un color púrpura oscuro. Cuando la carne fresca se corta por primera vez la superficie del corte puede presentar este color rojo oscuro; tras su exposición a la atmósfera durante algunos minutos se oxigena la mioglobina y la carne cambia a un color rojo más brillante. Si el músculo ha sufrido desnaturalización intensa el tono del color se reduce considerablemente y aparece pálido incluso en la carne cortada (Forrest, 1979).

- **Firmeza**

Los músculos vivos mantienen un cierto <<tono>> y generalmente se unen por ambos extremos, directa o indirectamente, a alguna parte del esqueleto por lo que, consecuentemente, son relativamente firmes. A medida que los músculos alcanzan el *rigor mortis* se convierten en muy firmes y rígidos. Más tarde, durante el proceso de maduración, a medida que prosigue la degradación enzimática y la desnaturalización proteica, el músculo pierde firmeza. Y si la desnaturalización proteica es muy grave los músculos se hacen muy blandos (Forrest, 1979).

- **Propiedades fijadoras del agua**

El agua supone el 65-80% de la masa muscular total. En la célula muscular viva, lo mismo que en cualquier otra célula viviente, el agua juega un papel importantísimo en la fisiología celular. Actúa como solvente o transportador de sustancias que deben movilizarse dentro de la célula, es lubricante, mantiene la turgencia de las células y constituye un componente esencial de muchas reacciones químicas.

Gran parte del agua de la célula muscular está firmemente unida a diversas proteínas. Si estas no se desnaturalizan continuarán ligando agua durante la conversión del músculo en carne y (en gran parte) durante el proceso culinario. El agua así retenida contribuye a la jugosidad y palatabilidad de la carne. Durante la conversión del músculo en carne, los cambios que tienen lugar en el agua ligada, dependen de la velocidad y descenso alcanzado en la caída del pH y de la cantidad de desnaturalización proteica. En los casos en los que el pH *post-mortem* del músculo permanece muy alto, la capacidad de ligar agua de la carne es similar a la del músculo vivo. Cuando durante la conversión en carne el pH muscular desciende rápidamente es escasa su capacidad de ligar agua (Forrest, 1979).

## **1.2. Envasado de carne a vacío y en atmósferas modificadas**

El envase protege a los productos contra los efectos deteriorantes, que pueden incluir cambios de color, desarrollo de mal sabor y olor, pérdida de nutrientes, cambios en la textura, la patogenicidad y otros factores medibles. Las variables que influyen en las propiedades de la vida útil en el envasado de carne fresca son el tipo de producto, mezcla de gases, el paquete y espacio de cabeza, equipos de envasado, la temperatura de almacenamiento y aditivos (Zhou y col., 2010).

### **1.2.1 Conservación de la carne envasado a vacío**

El envasado a vacío prolonga la vida de almacenamiento de carnes refrigeradas por mantener un ambiente deficiente en oxígeno dentro del empaque. El aire dentro del paquete debe ser evacuado de manera efectiva a los niveles nominales anóxicos (menos de 500 ppm) para evitar el oscurecimiento irreversible debido a los bajos niveles de oxígeno residual. Sin embargo, el envasado a vacío se considera inadecuado para fines de venta ya que la atmósfera sin oxígeno hace que la carne tenga un color púrpura y no un color rojo cereza, por lo que no es aceptable para los consumidores (Kerry y col., 2002).

## **1.2.2 Conservación de la carne en atmósferas modificadas**

El envasado en atmósferas modificadas ha llevado a la preparación centralizada de la carne en envases para la venta, un avance que ha permitido a los supermercados reducir los costos porque permite un aumento importante de la vida útil en términos de apariencia y también retrasa considerablemente la alteración (Varnam y Sutherland, 1995).

### **1.2.2.1 Principio de la atmósfera modificada (MAP)**

Esta técnica es comúnmente utilizada en la conservación de la carne fresca, su fundamento se basa en la evacuación del aire contenido en el envase y la inyección del gas o de la combinación de gases más adecuado a los requerimientos del producto (García y col., 2006). La composición gaseosa de los alimentos envasados en atmósfera modificada está cambiando continuamente, debido a las reacciones químicas y a la actividad microbiana (Coles y col., 2004).

El envasado de alimentos en atmósfera modificada puede prolongar la vida útil pero no puede hacer que mejore un producto de mala calidad. Por ello, es esencial que el alimento sea de la más alta calidad antes de su envasado y así la MAP mantendrá esta calidad (Coles y col., 2004). La vida útil depende totalmente de la carga microbiana inicial, la contaminación cruzada y el control de la temperatura (Brody, 1996).

### **1.2.2.2 Gases empleados en el envasado en atmósferas modificadas**

El envasado en atmósferas modificadas consiste en mantener la carne en un ambiente donde la disponibilidad de oxígeno sea distinta de la que existe en el aire. Esto se logra habitualmente eliminando el aire (oxígeno) mediante vacío o evacuando el aire y sustituyéndolo por dióxido de carbono, nitrógeno o una combinación de ambos (Brody, 1996).

En el envasado a vacío el incremento de la vida útil de un alimento se logra gracias a la baja concentración de oxígeno existente en el envase. En el sistema de atmósfera modificada se debe al diseño de un ambiente gaseoso “a medida” según las características microbiológicas (microflora natural, contaminación procedente del medio) y organolépticas (mantenimiento del color rojo en la carne fresca) del alimento (García y col., 2006). La atmósfera modificada puede contener un único gas o una mezcla de varios de ellos, cada uno con un papel diferente en la conservación de los productos alimenticios (Arvanitoyannis y Stratakos, 2012). Los principales gases utilizados son:

- Oxígeno (O<sub>2</sub>)

El oxígeno es un gas incoloro, inodoro que es altamente reactivo y fundamental para la combustión (Coles y col., 2004). El propósito principal del oxígeno en MAP es el desarrollo y mantenimiento de un color rojo cereza deseable. Según Kropf (2004) citado por Arvanitoyannis y Stratakos (2012), el pigmento oximioglobina se puede desarrollar bajo presión atmosférica normal. No obstante, un aumento del nivel de oxígeno como la que se encuentra en MAP puede resultar en una capa más profunda del pigmento rojo oximioglobina que hará que el color rojo de la carne sea atractiva por un periodo más largo. La retención del color rojo aceptado por el consumidor se realiza mediante el almacenamiento en MAP que contiene 70-80%, en virtud de la cual el oxígeno favorece la oxigenación de la mioglobina y por lo tanto el color rojo.

La mayor parte de las bacterias y hongos perjudiciales necesitan oxígeno para su crecimiento; para aumentar la vida útil de los alimentos, la atmósfera interior del envase debe contener una baja concentración de oxígeno residual (Coles y col., 2004) pero esto lleva a otro problema ya que la carne fresca es muy sensible a la decoloración causada por los bajos niveles de oxígeno. Valores de la presión de oxígeno parciales bajas producirá el desarrollo del color marrón debido a la conversión de la mioglobina a metamioglobina. Sin embargo, se ha encontrado que el almacenamiento de carne bajo atmósferas de oxígeno altas puede causar



pérdida de la calidad de la carne como sabores y aromas rancios, la disminución de la ternura y jugosidad de la carne y crecimiento de bacterias patógenas (Arvanitoyannis y Stratakos, 2012).

- Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )

Es un gas incoloro e inodoro. Entre los principales gases aplicados en MAP, el  $\text{CO}_2$  es el único con propiedades bacteriostáticas, fungistáticas e insecticidas. Es un compuesto soluble en agua y en grasa, esta propiedad se incrementa a baja temperatura por lo que su eficacia es mayor en productos refrigerados (temperaturas inferiores a  $10^\circ\text{C}$ ). Cuando se produce una disolución excesiva del mismo en el alimento pueden desencadenarse dos fenómenos negativos: el colapso del envase y la formación de exudado. El primero consiste en la retracción del material de envasado debido al exceso de la presión que ejerce el  $\text{CO}_2$  en el interior del paquete y el segundo se origina por la pérdida de la capacidad de retención de agua (CRA) de las proteínas debido a que el  $\text{CO}_2$  en disolución da lugar a ácido carbónico que se descompone rápidamente reduciendo el pH del medio (García y col., 2006).

Aunque altas concentraciones de dióxido de carbono pueden ser beneficioso para inhibir el crecimiento de microorganismos, las concentraciones en el envasado de carne son a menudo la causa de oscurecimiento en los productos cárnicos debido a la formación de metamioglobina (Arvanitoyannis y Stratakos, 2012).

- Nitrógeno ( $\text{N}_2$ )

Es un compuesto inerte, es decir, que no reacciona químicamente con otras sustancias y presenta además una solubilidad muy baja. Aprovechando su naturaleza poco reactiva este gas se utiliza como sustituto del oxígeno. Desplaza al  $\text{O}_2$  en el espacio de cabeza del envase con el fin de evitar el desarrollo de microorganismos aerobios y los problemas de oxidación. También actúa como gas de relleno ya que previene el colapso del envase cuando tiene lugar una

disolución excesiva de dióxido de carbono en los tejidos del alimento (García y col., 2006).

- Monóxido de carbono (CO)

Tiene capacidad para estabilizar el color rojo brillante de la carne fresca, debido a que la mioglobina tiene una alta afinidad por el monóxido de carbono y forma la carboximioglobina que es la responsable de este color (Arvanitoyannis y Stratakos, 2012). La FDA confirmó al monóxido de carbono como GRAS (reconocido como seguro) para niveles de hasta 0.4% en MAP, este se suministra generalmente en una concentración de 1% en una mezcla ya sea con N<sub>2</sub> o CO<sub>2</sub> y por lo tanto no representa ningún riesgo para el lugar de trabajo de los operadores durante el proceso de envasado (FDA, 2002).

Con la introducción de monóxido de carbono en el interior de los envases puede prescindirse del oxígeno e incrementar la cantidad de CO<sub>2</sub> (60-100%). Con ello se minimizan los problemas de oxidaciones y de crecimiento de microorganismos (García y col., 2006).

- Argón (Ar)

Entre los nuevos gases de mayor posibilidad de aplicación en el envasado de carne fresca, destaca el argón, muy similar químicamente al nitrógeno pero con ciertas ventajas que pueden hacerlo preferible a éste. El argón es más denso y más soluble en agua que el nitrógeno e incluso que el oxígeno, por lo que puede ser más efectivo desplazando eficazmente el oxígeno de los receptores celulares y enzimas, y consecuentemente frenando las reacciones oxidativas y la proliferación de microorganismos aeróbicos. La aplicación de argón puede alargar la vida útil de la carne fresca incluso hasta 8-10 días. De hecho el argón se está utilizando en más de 200 productos en el Reino Unido entre ellos en carne fresca (Andrés y col., 2008).

### **1.2.2.3 Relación gas/producto**

Un parámetro importante que se debe considerar en el envasado en atmósfera modificada, es la relación de volumen de gas/volumen del producto. Para ser efectiva la atmósfera de gas debe rodear completamente al producto para extender su vida de anaquel. Generalmente hablando, en muchas aplicaciones de MAP esta relación es de aproximadamente 3:1 (San Román, 1997).

### **1.2.2.4 Ventajas y desventajas de uso de envasado en atmósferas modificadas**

García y col. (2006) mencionan las ventajas y desventajas del envasado en atmósfera modificada de la carne.

#### a) Ventajas

- Gracias a las atmósferas modificadas la carne fresca cuenta con una vida útil más extensa conservando sus cualidades sensoriales hasta la apertura del envase.
- Los gases de envasado protegen al producto frente a la deshidratación superficial, la oxidación y otras alteraciones químicas enzimáticas. También actúa sobre la proliferación bacteriana.
- Los materiales de envasado transparentes y con brillo contribuyen a mejorar la presentación del alimento, proporcionando una imagen atractiva para el consumidor. Además, los productos comercializados en trozos delgados se separan con más facilidad bajo una atmósfera modificada que en el envasado tradicional en aire.

- La hermeticidad de los envases evita los problemas de goteo por el exudado acumulado en el interior y de transmisión de olores al ambiente y entre los propios alimentos almacenados.
- El incremento de la vida comercial de estos productos permite ampliar la zona de distribución y reducir la frecuencia de reparto, la reposición de la mercancía en los supermercados y el número de devoluciones.
- Se optimiza la gestión del trabajo, los almacenes y los equipos lo que supone una reducción de los costos productivos.

b) Desventajas

- El fenómeno de exudado producido por la disolución excesiva de CO<sub>2</sub> en los tejidos afecta negativamente a la textura y presentación del producto.
- La adquisición de los equipos y los sistemas de control correspondientes suponen una inversión inicial elevada. También deben considerarse los costos derivados del material de envasado, los gases y, algunas veces, la contratación de personal calificado para el manejo de la maquinaria.
- Se produce un aumento de los costos de transporte y almacenamiento debidos al mayor volumen de los paquetes con una atmósfera modificada.

#### **1.2.2.5 Películas utilizadas en MAP**

Hay una gran variedad de materiales de envasado que se utilizan para envasar los productos cárnicos frescos. En la mayoría de los casos el material que se utiliza en el envasado se elabora por combinación de varios de ellos juntos para dar lugar a un material compuesto para producir una estructura que tenga propiedades que no se pueden obtener con un material único (Price y Schweigert, 1994).

Arvanitoyannis y Stratakos (2012) mencionan que la selección apropiada de la película de envasado es el proceso clave para el uso eficiente de MAP. Hay que considerar la permeabilidad al oxígeno, a la humedad, la dureza y la estabilidad, la capacidad de automatización, la capacidad de impresión y de sellado, la resistencia al calor cuando el producto se trata térmicamente en el envase, las necesidades del mercado y el costo (Price y Schweigert, 1994).

**Tabla 1.** Principales características de los polímeros más utilizados en envases empleados en MAP

<b>Poliamida (PA)</b>	Más conocido como <i>nylons</i> , se utilizan por su fuerza y resistencia a la perforación, abrasión y desgarró. Térmicamente estables y flexibles a bajas temperaturas. Se emplea asociado a otros plásticos como EVOH, PE o saran para aumentar su resistencia y su impermeabilidad al oxígeno.
<b>Polietileno (PE)</b>	Es una material que se caracteriza por una elevada elasticidad, fácil tratamiento térmico, buena resistencia al frío y suficientes propiedades de barrera de vapor de agua. Sus propiedades mecánicas están relacionadas con el grado de ramificación de la cadena, así como el peso molecular del polímero.
<b>Polietileno de baja densidad (LDPE)</b>	Es uno de los más utilizados debido a su gran versatilidad. Puede ser convertido a partículas, botellas, moldeado, tapas, formando pliegues con papel, revestido con papel y aluminio o película de celulosa. Su permeabilidad es baja en el caso del agua, es muy permeable al oxígeno.
<b>Polietileno de alta densidad (HDPE)</b>	Es de mayor densidad y dureza, se usa para producir botellas bastante rígidas, posee las mismas propiedades que el polietileno de baja densidad.
<b>Polietileno de baja densidad lineal (LLDPE)</b>	Este se conoce como LDPE de baja presión o polietileno de ultra baja densidad (ULDPE). El LLDPE en comparación con LDPE tiene una mayor rigidez, mejor resistencia al impacto, al desgarró y a la tracción. Cuanto mayor sea la temperatura, mejor las resistencias que presenta. También tiene buen potencial de elongación. Sin embargo, tiene algunos inconvenientes como la demanda de mayor temperatura de termosellado y brillo inferior en comparación al LDPE.
<b>Polipropileno-</b>	El polipropileno es un polímero termoplástico y lineal. Sus ventajas se centran en su transmisión baja de vapor de agua,

<b>Polipropileno orientado (OPP)</b>	buena resistencia a abrasiones, grasas y productos químicos, buen brillo y alta claridad. Tiene propiedades mejoradas como la fuerza, resistencia al calor y estabilidad en frío.
<b>Cloruro de polivinilo (PVC)</b>	Posee una buena capacidad barrera frente a los gases y moderada al vapor de agua cambiando dependiendo el grosor del calibre. Es extremadamente resistente a la grasa y aceite. Es una película que tiene la capacidad de ser ablandado y formado por el calor fácilmente. Tiene la ventaja que la impresión sobre él es posible.
<b>Etileno-alcohol vinílico (EVOH)</b>	Proporciona la barrera más segura frente al oxígeno cuando está seco. Es muy hidrofílico y por lo tanto no constituye un freno contra la humedad. Debe mantenerse seco para mantener su impermeabilidad al oxígeno, lo que consigue por medio de una estructura en sándwich con películas impermeables a la humedad como el polietileno. Tiene una alta resistencia mecánica, a los aceites y a los disolventes orgánicos, y una gran estabilidad térmica.
<b>Etileno vinilo acetato (EVA)</b>	Es un copolímero muy flexible en forma de lámina, es bastante permeable al vapor de agua y gases. Puede ser sellado térmicamente o por alta frecuencia. Se puede utilizar para el envasado al vacío cuando se combina con cloruro de polivinilideno (PVDC).
<b>Polietileno-tereftalato (PET)</b>	El poliéster se utiliza de diferentes formas en el envasado en atmósferas modificadas como film orientado de espesor reducido, de elevada claridad para films de cubierta, y en forma cristalina o amorfa como bandejas preformadas o termoformadas en la línea. El PET tiene unas buenas propiedades barrera al gas y al vapor de agua; es fuerte, se puede ver claramente el producto contenido, y es resistente a la temperatura.
<b>Cloruro de polivinilideno (PVDC)</b>	Es un copolímero del cloruro de vinilo y del cloruro de vinilideno. Posee unas excelentes propiedades de barrera para los gases, el vapor de agua y olores. Resiste bien al aceite, la grasa y los disolventes orgánicos.

(Fuente: Arvanitoyannis y Stratakos, 2012; Guevara, 2010; Parry, 1993; Price y Schweigert, 1994).

a) Permeabilidad

La permeabilidad puede ser considerada como la transferencia de materia existente a través de la pared que constituye el material de envasado. Esta dependerá de la atmósfera empleada (Rodríguez, 2005). La permeabilidad se

mide por la cantidad de gas o líquido que penetra por unidad de tiempo y superficie a condiciones normales o estándar. El parámetro que se emplea casi siempre es la diferencia de presión parcial y no el gradiente de concentración; ambos son convertibles. La velocidad de permeación a través del plástico, principalmente depende en gran medida del espesor del material, de la temperatura, de la diferencia de presión en ambas caras y de la humedad relativa (Guevara, 2010).

#### Permeabilidad a los gases

Una adecuada permeabilidad al CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> es importante para lograr atmósferas modificadas con elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> capaces de inhibir el desarrollo microbiano. En carnes, se requiere un empaque con una elevada permeabilidad al O<sub>2</sub> con la finalidad de conservar el color rojo de la carne. La permeabilidad al CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> es particular en cada material, pero se puede argumentar que en términos generales la permeabilidad para el CO<sub>2</sub> es mayor que para el O<sub>2</sub> (Guevara, 2010).

#### b) Permeabilidad al vapor de agua

Muchas películas plásticas hidrofóbicas usadas en MAP de productos frescos son relativamente buenas barreras al vapor de agua y son capaces de mantener humedades relativas dentro del envase, incluso cuando las condiciones de la atmósfera externa son secas; en el caso de las frutas, vegetales, carnes, pescados y productos con elevado contenido de agua, existe un problema, en el interior del envase la humedad relativa puede llegar a ser muy alta, lo que causa condensación de la humedad por lo que se crean condiciones favorables para el desarrollo microbiano, resultando en la descomposición del producto. En el caso de la carne la permeabilidad al vapor de agua debe de ser baja para impedir la pérdida de peso por deshidratación (Guevara, 2010).

### **1.2.2.6 La refrigeración como complemento de las atmósferas modificadas**

Guevara (2010) menciona que las pérdidas de humedad entre 3 y 6% son suficientes para causar deterioro de la calidad durante la comercialización en muchos tipos de productos, es por esto que el almacenamiento refrigerado en carne, debe ser a una temperatura comprendida entre 0 a 4 °C. Se deben evitar las fluctuaciones térmicas por apertura frecuente del almacén frigorífico y por introducir carnes a temperaturas distintas de la conservación ya que se forma agua de condensación sobre las piezas de carne. La refrigeración es el único método que no altera las propiedades del producto. La carne que se conserva refrigerada adquiere una coloración oscura (rojo oscuro a marrón oscuro) a causa de los procesos de deshidratación superficial, pero si aparecen otras coloraciones (verdosa o grisácea) es por la existencia de alteraciones microbianas. El almacenamiento de la carne se limita a períodos cortos de tiempo, dado que los cambios cinéticos continúan la velocidad de muchos de estos cambios se acelera con el tiempo.

Existen diversos factores que influyen sobre la vida útil de la carne que se almacena en condiciones de refrigeración, entre los principales están la carga microbiana original, las condiciones de temperatura y humedad durante el almacenamiento, la presencia o ausencia de envolturas protectoras, la especie animal y el tipo de corte de carne que se maneje (Rodríguez, 2005).

La capacidad de conservación de la carne sometida a refrigeración se ve limitada sobre todo por la oxidación de la grasa (enranciamiento). Además, puede producirse la desecación localizada o total de la carne, lo que favorece la oxidación y la desnaturalización proteica (Genot, 2003). La merma del peso es proporcional al tiempo de almacenamiento y se produce por pérdida de agua que altera la estructura de la carne; de aquí que los plásticos que se utilizan deben tener una adecuada permeabilidad al vapor de agua. La temperatura y el tiempo de almacenamiento también influyen en el sabor, un almacenamiento prolongado



y desfavorable puede causar el desarrollo de aromas proteolíticos por la descomposición proteica, olores acres o pútridos por el crecimiento microbiano (Guevara, 2010).

Cuando se almacena la carne ya sea refrigerada o congelada se debe tener cuidado con el tipo de envasado utilizado, pues este puede afectar al producto final; si el envasado no es el adecuado, se pueden presentar decoloraciones no deseables y hasta una descomposición. Los efectos inhibidores de elevadas concentraciones de dióxido de carbono o reducidas de oxígeno se incrementan a temperaturas bajas y son disminuidos por los procesos alternativos de la respiración normal a temperaturas ambiente o superiores. Por tanto, los efectos beneficiosos de la modificación de la atmósfera del entorno son más notorias a bajas temperaturas, es decir, los efectos beneficiosos del envasado en atmósferas modificadas y a vacío se complementan con la refrigeración y no pueden reemplazar a las bajas temperaturas (Brody, 1993).

La vida útil de la carne de vacuno depende en gran medida de que se prepare con una higiene adecuada, se utilice carne fresca con un nivel bajo de contaminación microbiana, se controle rigurosamente la temperatura y se elimine el aire al máximo (Brody, 1996).

### **1.3 Parámetros de calidad de la carne**

Los parámetros de la calidad de la carne, que son evaluados de forma consciente e inconsciente por el consumidor, constituyen las características sensoriales, estas son el conjunto de propiedades perceptibles por nuestros sentidos que demandan y cuantifican los consumidores directamente. Las características más importantes son el color, la blandura o ternura, la jugosidad, el aroma y sabor, la textura y el aspecto (Carballo y col., 2001).

- Color

El color depende de la cantidad de pigmento mioglobina del músculo. No sólo depende de su concentración, sino también del estado de oxido-reducción; y, por último, también está influido por la CRA, porque cuando tiene agua ligada absorbe más radiaciones y refleja pocas, dando una impresión de carnes mucho más oscuras, mientras que cuando el agua está libre se refleja mayor proporción de la radiación, dando apariencia mucho más clara (Guevara, 2010).

- Terneza

Peluffo y Monteiro (2002) definen a la terneza como la dificultad o la facilidad con la que una carne se puede cortar o masticar; su antagónico es la dureza. Los factores que afectan la terneza son: variaciones genéticas, físicas y biológicas que, a su vez, son afectadas por factores *ante-mortem* y *pos-mortem* y por el porcentaje de proteína, grasa, humedad y colágeno (Carbajal y col., 2008) y la actividad fisiológica del animal (Carballo y col., 2001).

La textura depende del número y tamaño de los paquetes de fibra contenidas en el músculo. En animales grandes, como el ganado vacuno, estos paquetes son mayores que en los animales más pequeños, como el carnero o el cerdo (Carballo y col., 2001). También existen diferencias de textura entre diferentes músculos de un mismo animal e influye en la terneza la cantidad de colágeno y grasa y la distribución de ambos, siendo más dura la carne cuánto más abundante es en colágeno. Por el contrario, a mayor contenido en grasa más tierna es la carne. Por último, existe una relación inversa entre terneza y la cantidad de proteína del músculo y de ciertos iones como zinc y manganeso (Guevara, 2010).

- Jugosidad

La jugosidad depende de la cantidad de agua retenida por un producto cárnico cocinado, esta incrementa el sabor, contribuye a la blandura de la carne haciendo que sea más fácil de masticar y estimula la producción de saliva (FAO, 2008).

La jugosidad de la carne tiene dos componentes organolépticos: el primero es la impresión de humedad durante los primeros movimientos masticatorios y es producida por la liberación de jugo cárnico; el segundo es la persistencia o jugosidad sostenida, debido en gran parte al efecto estimulador de la grasa sobre la salivación (Lawrie, 1998).

- Sabor

El sabor y el aroma se conjugan para producir la sensación que el consumidor experimenta al comer (FAO, 2008) y están determinados por una gama de compuestos químicos presentes en concentraciones pequeñas (Lawrie, 1985). El sabor depende de la carnosina, nucleótidos, ciertos aminoácidos libres, acción de microorganismos y presencia de ácidos grasos libres y del grado de lipólisis de la carne. La coloración va asociada con el sabor de la carne, es así, que la carne pálida se considera insípida y la muy oscura sávida (Guevara, 2010).

## **1.4 Color**

### **1.4.1 Color en la carne**

El color ocupa un lugar preferente entre los factores que definen la calidad de un alimento ya que denota frescura y los consumidores prefieren la carne que es de color rojo en lugar de la de color marrón (Guevara, 2010). La carne puede ser rechazada por su color sin valorarse otras propiedades, como su aroma, textura o sabor (Hui y col., 2006).

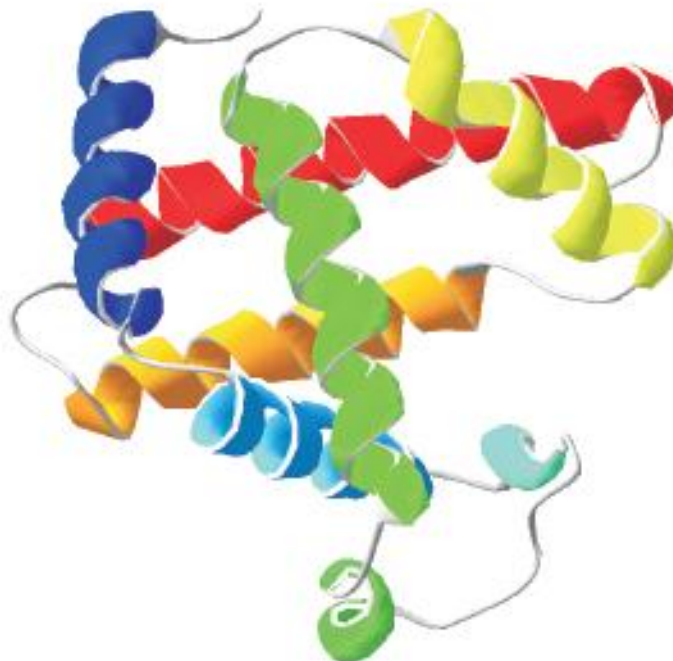
Los factores que más contribuyen al color de la carne son los pigmentos que absorben ciertas longitudes de onda de la luz y reflejan otras. La estructura y la textura de los músculos implicados también influyen en la reflexión y absorción de la luz (Forrest, 1979).

#### 1.4.1.1 Pigmentos de la carne

Los pigmentos de la carne están formados en su mayor parte por dos proteínas, la *hemoglobina*, que es el pigmento sanguíneo y la *mioglobina*, pigmento muscular (Forrest, 1979). En el tejido muscular bien desangrado la mioglobina constituye el 80-90% del pigmento total y es mucho más abundante que la hemoglobina. En la carne pueden encontrarse otros pigmentos, como la catalasa y los citocromoenzimas, pero su contribución al color es mucho menor (Guevara, 2010); los dos pigmentos principales tienen una estructura similar, salvo que la molécula de mioglobina es una cuarta parte menor que la de hemoglobina (Hui y col., 2006).

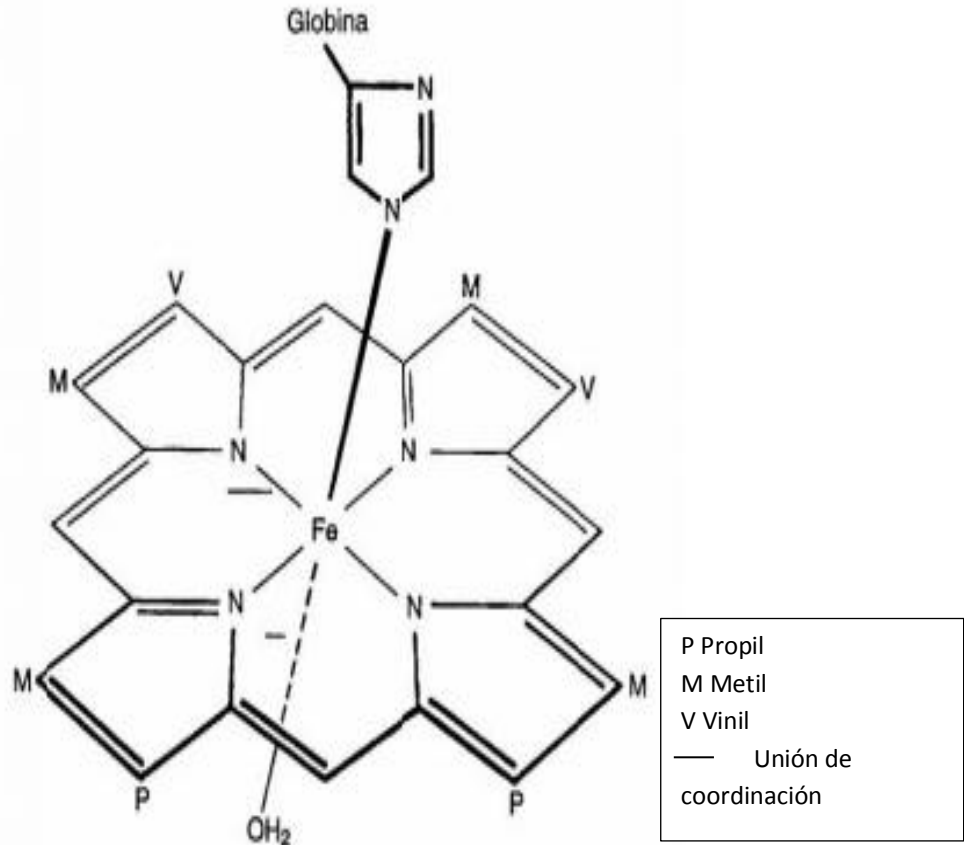
#### 1.4.1.2 Estructura de la mioglobina

La mioglobina (Figura 3) está formada por una porción proteica hidrosoluble, denominada globina, (ya que se trata de una proteína globular) y de una porción no proteica denominada anillo o grupo hemo (Hui y col., 2006).



**Figura 3.** Molécula de la mioglobina (Ranken, 2003).

El grupo hemo (Figura 4), se compone de un anillo de porfirina plano y un átomo de hierro central. El átomo de hierro tiene seis puntos de enlace o uniones de coordinación. Cuatro de éstos están ligados a átomos de nitrógeno; uno está unido a la molécula de globina; el enlace restante está libre para ligarse a otras sustancias, ordinariamente agua u oxígeno (Ranken, 2003).



**Figura 4.** Representación esquemática del complejo hemo de la mioglobina (Varnam y Sutherland, 1995).

#### 1.4.1.3 Química de la mioglobina

La mioglobina en la carne fresca generalmente existe en tres formas, que tienen distinto color (Figura 5). Las tres forman un equilibrio (Figura 6) y son:

- a) Mioglobina reducida
- b) Oximioglobina

c) Metamioglobina

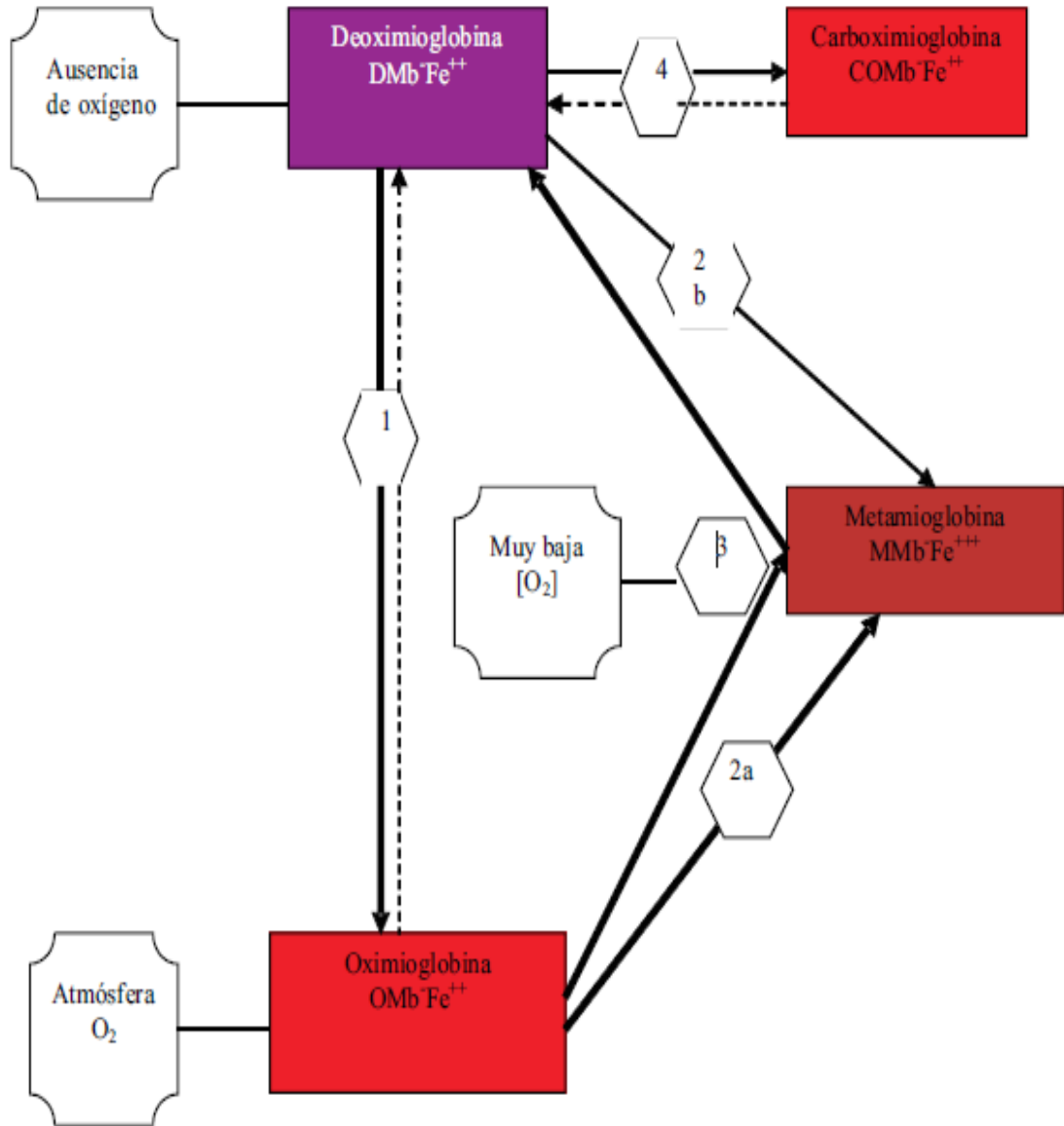
La *mioglobina reducida* tiene hierro reducido ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y agua en el sexto enlace de coordinación. El color del pigmento es rojo púrpura (el mismo color aparece en la carne envasada al vacío) y se encuentra en el interior de las piezas de carne donde el oxígeno está ausente (Ranken, 2003; Varnam y Sutherland, 1995).

La *oximioglobina* es la forma oxigenada de la mioglobina y mientras el hierro está en forma reducida ( $\text{Fe}^{2+}$ ) el oxígeno ocupa el sexto enlace de coordinación. Este pigmento es de color rojo brillante y es el pigmento deseable en la carne fresca. Con el tiempo la capa delgada de oximioglobina avanza hacia el interior, dependiendo la profundidad de la tensión de oxígeno y de la actividad de las enzimas que lo utilizan (Varnam & Sutherland, 1995). En condiciones aerobias la mioglobina es oxigenada a oximioglobina entre media hora y una hora a  $5^{\circ}\text{C}$  (Guevara, 2010). Este brillante color se le conoce como *flor* (Forrest, 1979).

La *metamioglobina* tiene el hierro en la forma oxidada ( $\text{Fe}^{3+}$ ) y agua en el sexto enlace de coordinación. El pigmento, que es de color marrón, es incapaz de ligar oxígeno (Varnam & Sutherland, 1995). La autooxidación de la mioglobina a metamioglobina se acelera a bajos pH, ya que disminuye la estabilidad del enlace hemo de la mioglobina (Guevara, 2010). La metamioglobina generalmente está presente en una zona de baja concentración de oxígeno entre el interior anaerobio de la carne y la zona oxigenada de la superficie. A medida que la carne madura la capa de metamioglobina aumenta y se hace visible por debajo de la capa de oximioglobina que va disminuyendo (Varnam & Sutherland, 1995).

De acuerdo con Blomerang y col., (2005), citado por Aspé y col. (2008) la mioglobina también posee gran afinidad por otras moléculas biatómicas, como el CO, debido a su forma y polaridad. La formación de la carboximioglobina se produce cuando el monóxido de carbono se une a la sexta vacante, produciendo

un color rojo brillante estable cuando el ambiente está desprovisto de oxígeno (AMSA, 2012).



Rx 1 (Oxigenación):  $DMb + O_2 = OMb$

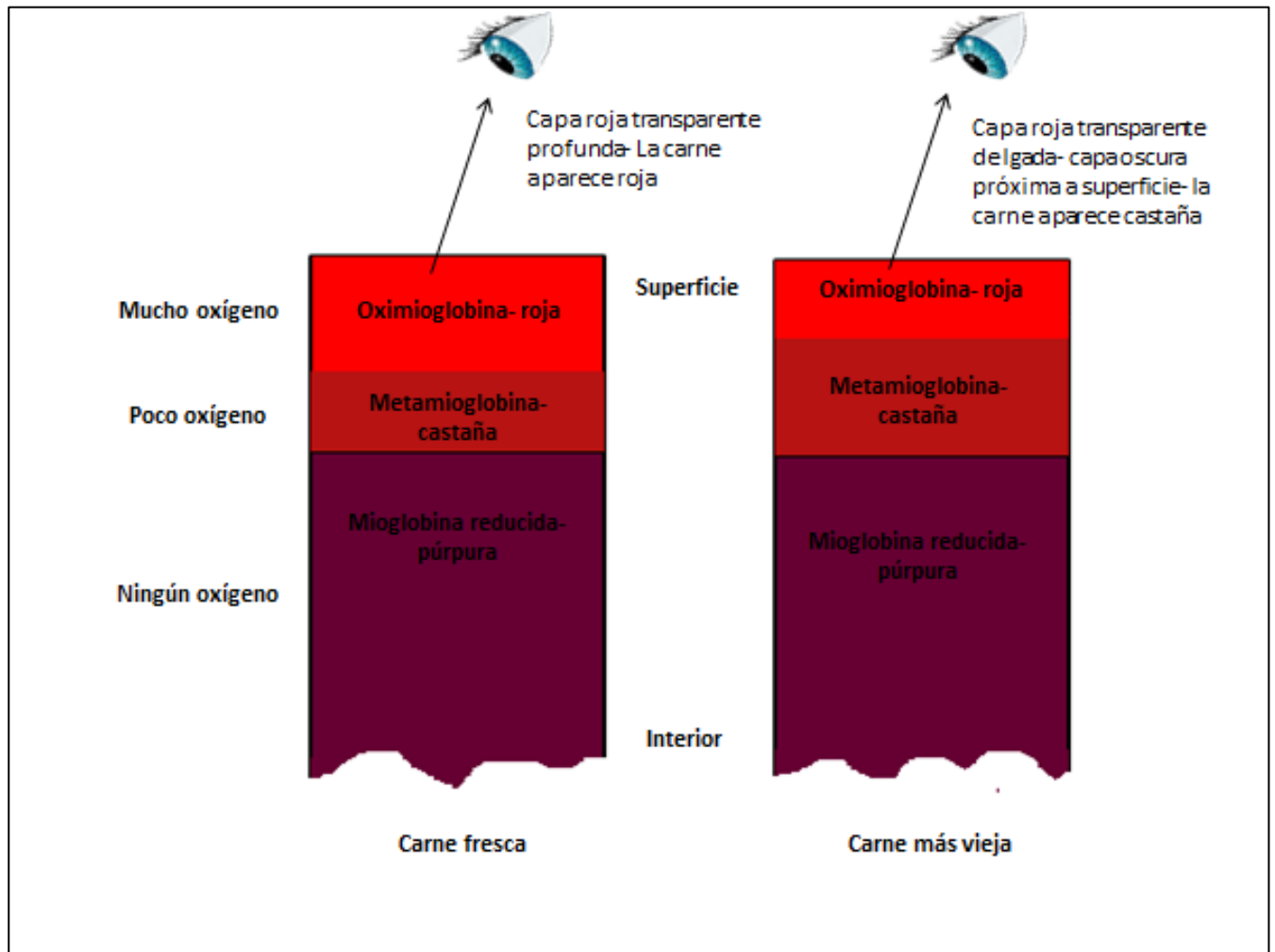
Rx 2a (Oxidación):  $OMb + (\text{oxígeno consumido o baja presión parcial de } O_2) - e^- = MMb$

Rx 2b (Oxidación):  $(DMb - \text{ion hidroxil} - \text{ion complejo hidrogeno}) + O_2 = MMb + O_2$

Rx 3 (Reducción):  $MMb + \text{oxígeno consumido} + \text{actividad reducida de metamioglobina} = DMb$

Rx 4 (CarboxiMb):  $DMb + \text{monóxido de carbono} = COMb$

**Figura 5.** Relación química entre los pigmentos de la carne (Marcini y Hunt, 2005).



**Figura 6.** Color aparente de la carne (Ranken, 2003).

Es característico que a bajas temperaturas ( $0^{\circ}\text{C}$ ) el color de la carne sea más brillante en comparación con una temperatura más elevada, esto debido a que el coeficiente de difusión decrece en menor proporción que la actividad respiratoria conforme disminuye la temperatura. Un pH elevado en la carne puede favorecer la estabilidad de los pigmentos, pero también puede favorecer el desarrollo microbiano (Guevara, 2010).



### 1.4.2 Factores que afectan el color de la carne fresca

De acuerdo con Lawrie (1998), la concentración de los pigmentos varía mucho entre las diferentes carnes siendo importantes los siguientes factores:

- **Especies animales:** el vacuno, por ejemplo, contiene más mioglobina que el cerdo.
- **Razas:** los músculos de los toros tienen mayor cantidad de mioglobina que los de las vacas y los de los novillos más que los de los terneros.
- **Edad:** la concentración de pigmento aumenta con la edad.
- **Sexo:** la carne de los animales machos ordinariamente contiene más pigmento que la de los animales hembras.
- **Función muscular:** la función de la mioglobina es almacenar oxígeno; por lo tanto, los músculos de las piernas son de un color más intenso que el lomo (*l. dorsi*).
- **Intensidad del funcionamiento:** los músculos de los animales que viven en libertad tienen más pigmento muscular que los correspondientes animales estabulados.

### 1.4.3 Medida del color de la carne

#### 1.4.3.1 Teoría del color

Los sistemas para la medida del color pueden ser de dos tipos: subjetivos (apreciación visual) y objetivos (análisis instrumental) (Hui y col., 2006). En los primeros se determina el color por comparación visual del objeto a medir con

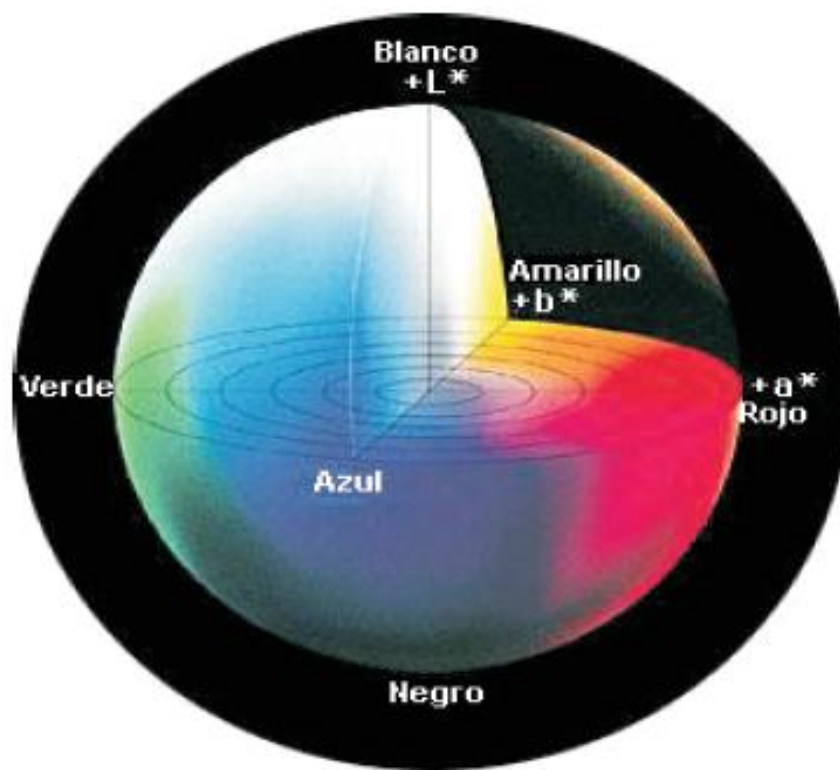
colores previamente catalogados y cuantificados, en el segundo hay que hacer uso de medidas físicas (espectro visible).

El color como es visto por el ojo humano es una interpretación por el cerebro del carácter de luz que viene de un objeto (Fungi, 1999). Desde el punto de vista físico, la producción de color necesita de tres factores.

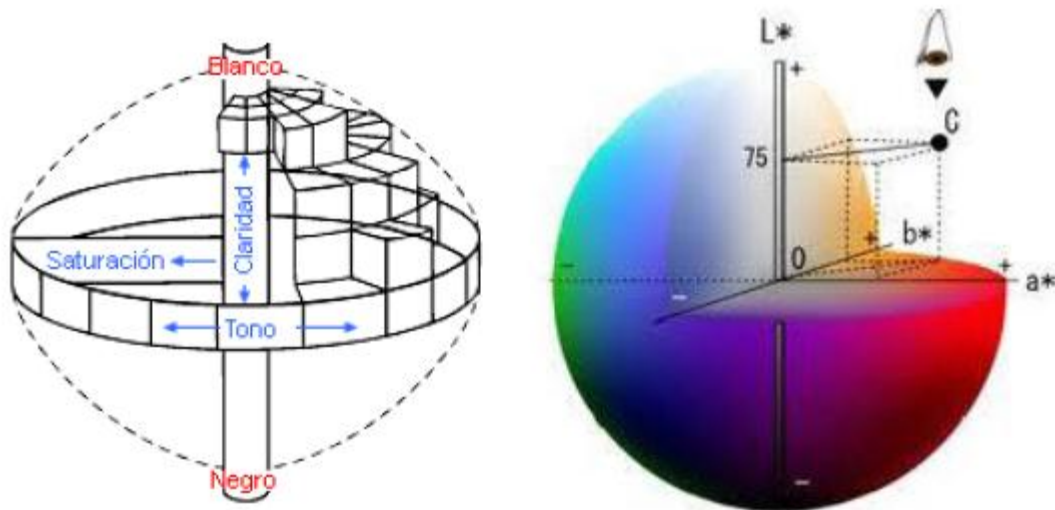
- 1) Fuente de luz (iluminación). Las fuentes más comunes, como la del sol, el filamento o lámpara de tungsteno, son sólidos incandescentes, la razón es porque la que la radiación de éste se encuentra independiente del material del que está compuesto, y solo depende de su temperatura. Una fuente de luz común para la visualización de la carne es la iluminación fluorescente blanca cálida.
- 2) Un objeto que es iluminado y que transmite esa luz. Es aquel que puede absorber, o por el contrario reflejar o transmitir, una parte o la totalidad de la luz que se recibe. La proporción de la luz que se refleja o transmite puede variar según la longitud de onda de la luz incidente, debido a que los pigmentos absorben a diferentes longitudes de onda.
- 3) El cerebro y el ojo que percibe el color, que es conocido como observador. Existen dos tipos de receptores visuales en la retina donde su percepción visual es diferente y está influenciada por la intensidad de la luz (Cheftel, 1989).

Cuando se clasifican los colores, se pueden expresar en términos de su tono (color), luminosidad (brillantez) y saturación (intensidad); que se definen de la siguiente manera:

- Tono.- También llamado *Hue*, es el término utilizado en el mundo del color para clasificar al rojo, azul, amarillo, etc.
- Luminosidad.- Este cambia verticalmente en el sólido del sistema  $L^* a^* b^*$  (Figura 7), se puede separar en colores oscuros y claros.
- Saturación.- Los colores cambian a partir del centro al exterior en el sólido de color del sistema  $L^* a^* b^*$  (Figuras 7 y 8). Los colores son tenues en el centro y se hacen más intensos al moverse hacia el exterior, esto se denomina *Croma* (Braña y col., 2011).



**Figura 7.** Representación del color sólido para CIE  $L^* a^* b^*$  (Fernández, 2007).



**Figura 8.** Espacio tridimensional de los atributos de color (Coria, 2014).

Al presentar la luz un objeto, ésta se puede modificar como sigue:

- a) Transmisión.- La luz puede transmitirse a través del material, el cual es transparente. Si el material es incoloro toda la luz se transmite, excepto una pequeña cantidad que es reflejada desde dos superficies del objeto. La dispersión de la luz ocurre cuando hay un cambio drástico en la cantidad de lo que se llama índice de refracción, el cual mide cuanta luz penetra un material.
- b) Absorción.- La luz es absorbida como una luz visible. Si el material absorbe parte de la luz, éste aparece coloreado pero continua transparente: si toda la luz es absorbida, el material es negro y opaco.
- c) Dispersión.- Cuando hay suficiente dispersión de la luz reflejada por el material, una parte de la luz que pasa a través del material es difundida y otra parte es transmitida, por lo que el material es traslúcido. Cuando la dispersión es tan intensa que la luz no puede pasar a través del material se

le llama opaco. Por lo que el color del material depende de la cantidad y del tipo de dispersión y de la absorción que presente; si no hay absorción y la misma cantidad de dispersión en cada longitud de onda el material se ve blanco.

- d) Brillo.- Resulta de la refracción espectral de la luz a partir de una superficie plana. Al hacerse la superficie áspera, el brillo se reduce, e incrementa la refracción de la difusión de la superficie (Fernández, 2007).

Para la evaluación sensorial e instrumental de la carne, la fuente de luz debe ser estandarizada. Existen algunas condiciones que pueden alterar el color de algunas carnes, las cuales son (Konica Minolta, 2014a):

- Diferencia de los observadores: La vista de cada individuo es diferente en relación a la sensibilidad en la percepción de los colores. De todas las condiciones que afectan la percepción del color, ésta es la más difícil de controlar y, por lo tanto, el uso de instrumentos de medición de color son más adecuados para esta tarea.
- Diferencias de corte: Estas pueden afectar en cómo se percibe el color debido a la cantidad de luz reflejada. Para cortes más grandes, más luz se refleja y el color a menudo se percibe como más brillante y más vivo.
- Diferencias en color de fondo: Los cortes de carne vistos contra un fondo brillante parecen tener un color más opaco, mientras que los cortes vistos contra un fondo oscuro, parecen más brillantes. El color de fondo también se vuelve importante en la fotografía de carnes, donde los fondos brillantes pueden dar una falsa impresión de color mate o pálido, mientras que fondos oscuros tienden a captar mejor la intensidad del color de la carne.

- Diferencias direccionales: Tanto el ángulo desde el que se muestra el corte como el ángulo de incidencia de la luz de la fuente de iluminación afectarán la percepción del color. Esto es particularmente importante cuando ocurre ya que puede obstaculizar la capacidad de ver la muestra. Además, para condiciones como la iridiscencia, el ángulo de incidencia de la luz para el observador, puede tornar ésta condición visible o invisible. La iluminación de fondo debe evitarse, se recomienda utilizar luz de techo.

#### 1.4.3.2 Espacios de color y equipos de medición

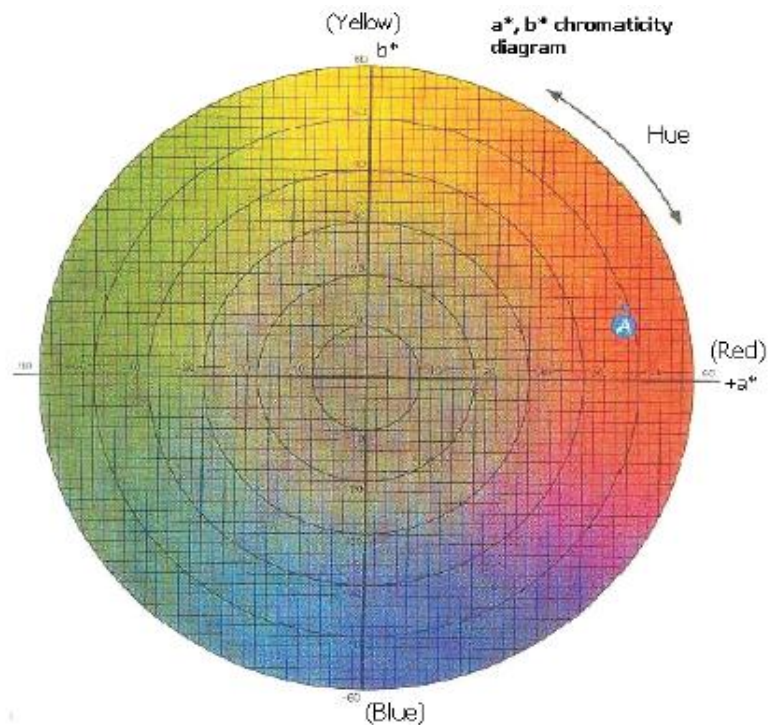
- a) Espacio de color. Un espacio de color puede ser descrito como un método para expresar el color de un objeto usando algún tipo de anotación, como pueden ser los números. La Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) ha definido espacios de color, incluyendo CIE XYZ, CIE  $L^*C^*h^*$ , y CIE  $L^*a^*b^*$ , para comunicar y expresar el color objetivamente (Konica Minolta, 2014b).
- Valor triestímulo X, Y, Z. En 1931 fue desarrollado por la CIE, se encuentra basado en la teoría de la visión de tres colores primarios (rojo, verde, azul) y que todos los colores se observan como mezcla de estos (AMSA, 2012; Konica Minolta, 2014b).
  - Coordenadas de cromaticidad del sistema: Y, x, y. Se obtienen en este espacio de color los valores x, y como coordenadas de cromaticidad (AMSA, 2012).
  - Coordenadas de cromaticidad del sistema  $L^*, a^*, b^*$ . La razón por la que la CIE  $L^* a^* b^*$  se desarrolló fue que las distancias colorimétricas XYZ entre los colores individuales no corresponden a las diferencias de colores percibidas. Por ejemplo, la diferencia entre el verde y amarillo verdoso es

relativamente grande, mientras que la distancia del azul y el rojo es bastante pequeña.

Es actualmente uno de los más populares espacios de color más utilizados para evaluar el color de un objeto. Este espacio de color es ampliamente usado porque correlaciona los valores numéricos de color consistentemente con la percepción visual humana.

El espacio  $L^*$  indica la luminosidad,  $a^*$  y  $b^*$  indican la cromaticidad. En el diagrama de cromaticidad, de la Figura 7, los valores “a” se representan en el eje X, los valores “b” en el eje Y, mientras que la luminosidad se representa en el eje Z. El valor de  $a^*$  y  $b^*$  indican las direcciones del color siendo positivas o negativas:  $+a^*$  es la dirección roja (escala de 60),  $-a^*$  es la dirección verde (escala de -60),  $+b^*$  es la dirección amarilla (escala de 60) y  $-b^*$  es la dirección azul (escala de -60). La tercera dimensión  $L^*$  se representa numéricamente donde 100 es blanco, y 0 es negro. En la Figura 8 se observa que el centro es acromático, cuando los valores de  $a^*$  y  $b^*$  se incrementan y el punto se mueve fuera del centro, la saturación del color se incrementa y en la Figura 9 se observa el ángulo Hue. (AMSA, 2012; Konica Minolta, 2014b).

- Coordenadas de cromaticidad del sistema L, C, h. Utiliza el mismo diagrama que el espacio de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  pero en este caso empleando coordenadas cilíndricas en lugar de coordenadas rectangulares, L indica luminosidad, C es el croma y H es el ángulo del tono. El valor C es cero en el centro y se incrementa de acuerdo a la distancia del centro (Fernández, 2007).



**Figura 9.** Corte del espacio  $L^* a^* b^*$  a un valor específico de  $L^*$  (Fernández, 2007).

b) Equipos de medición de color

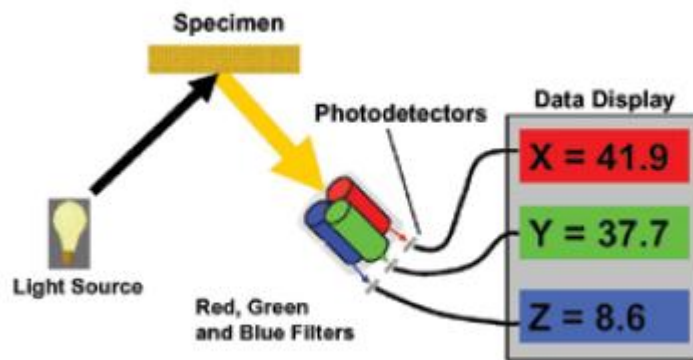
- Colorímetro Minolta. Este equipo permite una medida objetiva del color, a través de la cuantificación de la luz reflejada por la muestra. Al equipo hay que hacerle una calibración del blanco y del negro y seleccionarle el sistema de referencia deseado. Para realizar las medidas conviene cubrir la muestra con un vidrio óptico que evite el deterioro de la esfera integradora.

El colorímetro comprime un rayo de luz y recibe un reflejo que ocasiona un triple estímulo (Figura 10) en los filtros rojo, verde y azul (también conocido como “RGB”- rojo, verde y azul), que posteriormente son transformados por el microprocesador en los valores de XYZ o  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ . Y opera según el procedimiento espectral, que está considerado como el método de medición



más preciso con una gran diferencia respecto a otros métodos. Una fuente de luz definida ilumina la muestra y la luz reflejada por la superficie se mide de modo espectral.

Puesto que los colores superficiales dependen de la fuente de iluminación, el espectro reflejado debe ser ponderado con una fuente de luz estandarizada. El espectro resultante es valorado con los tres espectros basados en la percepción al rojo, verde y azul del sistema de visión humano y así se obtienen los tres valores cromáticos  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  (AMSA, 2012; Di Wu y Da- Wen, 2013; Konica Minolta, 2014b).



**Figura 10.** Ilustración de la medición de un colorímetro triestímulo (AMSA, 2012).

Para los colorímetros, el iluminante patrón recomendado es el  $D_{65}$  que representa mejor la luz del día. El observador patrón de  $10^\circ$  abarca un ángulo de visión que permite observar con la fovea y parte de la retina extrafoveal. Esta parte no se incluye en el observador patrón con un ángulo de visión de  $2^\circ$ , que presenta menos sensibilidad a la zona de los azules. Se recomienda utilizar, por tanto, el observador de  $10^\circ$ . La ventana del aparato está cubierta por un cristal, de modo que la superficie de la muestra al apoyar el aparato para la lectura sea lisa. Las mediciones se harán en zonas homogéneas y representativas, libres de grasa

intramuscular y de manchas de sangre, siendo el grosor mínimo de los filetes de 2 cm. La medida que más se altera por el espesor de la muestra es la luminosidad (Cañeque y Sañudo, 2000).

- Sistema de visión por computadora (CVS).

Diversos autores como Gunasekaran, 1996; Sun y Brosnan, 2003; Zheng Sun, 2006; Du y Sun, 2006 mencionados por Di Wun y Da- Wen, 2013, definen al CVS como la ciencia que se desarrolla teóricamente y se basa en algoritmos para extraer y analizar automáticamente información útil sobre un objeto o escena de una imagen.

Este método permite estimular el color global de la muestra. El CVS captura, procesa y analiza imágenes y evalúa el color con un método objetivo y no destructivo.

La imagen digital en color se representa en forma RGB con tres componentes por píxel en el rango de 0-255. La CSV extrae información cuantitativa del color a partir de imágenes digitales, utilizando el procesamiento y análisis de imágenes, dando como resultado la consecución de una rápida medición del color; una imagen digital es adquirida por la luz incidente en el espectro visible que cae sobre una superficie parcialmente reflectante con los fotones dispersados se reúnen en la lente de la cámara, convertida en señales eléctricas y guardado en el disco para su posterior visualización (Di Wun y Da-Wen, 2013; Girolami y col., 2013).

## 1.5 Textura

La textura de los alimentos es un conjunto de sensaciones distintas, un parámetro multidimensional, y por ello es complicado obtener una definición válida de la misma consultando el diccionario. Diversos autores han propuesto varias

definiciones (Anzaldúa-Morales, 1994; Bourne, 2002; De-Man y col., 1976; Genot, 2003; King y Kenchington, 1980) de las que se podrían escoger como las más adecuadas:

- Es la propiedad sensorial de los alimentos que es detectada por los sentidos del tacto, la vista, el oído, y que se manifiesta cuando el alimento sufre una deformación.” No se puede definir a la textura de un alimento como una propiedad única de éste, sino que hay que referirse a los atributos o a las propiedades de textura de ese alimento (Anzaldúa-Morales, 1994).
- Se define como el conjunto de propiedades mecánicas, geométricas y de superficie de un producto perceptible por los mecano-receptores y los receptores táctiles (Genot, 2003).

La textura de los alimentos no tiene una definición exacta, precisa y satisfactoria, sin embargo, se puede decir que posee ciertas características (Rodout, 2004):

- Se trata de un grupo de propiedades físicas que derivan de la estructura del alimento.
- Están relacionadas con la mecánica y la reología.
- No están directamente relacionada con el olor o el gusto.

La textura de la carne está en función a 2 características mencionadas en el primer capítulo: terneza y jugosidad (Lawrie, 1998). La textura de la carne, está dada por el tamaño y el desarrollo del tejido conectivo, tejido graso, fibras

musculares, filamentos, sistema vascular y nervioso, y otros componentes estructurales (Hui y col., 2006; Ranken, 2003).

### **1.5.1 Métodos de evaluación de textura en alimentos**

El estudio de las propiedades mecánicas de los alimentos se efectúa a través de tres tipos de ensayos:

- a) Ensayos fundamentales: A través de éstas se obtienen las funciones materiales, es decir, aquellas que solo dependen del material y no del instrumento o del método. Los resultados se expresan en términos de potencia de masa, longitud y tiempo y todas las variables son conocidas y controladas. Estas pruebas se refieren sólo a las propiedades reológicas. Se utilizan viscosímetros y reómetros (Rodout, 2004).
  
- b) Ensayos empíricos: Estos no tienen base científica real, sino que se encuentran basados en la intuición del manipulador. No se encuentran estrictamente definidos, y son modificables a voluntad de un experimento a otro. Son difícilmente comparables entre ellos. Como ejemplos se pueden mencionar los penetrómetros diseñados especialmente para ceras, el gelómetro de Bloom para grenetinas, el consistómetro de Bostwick para las salsas, purés, jarabes, entre otros (Rodout, 2004).
  
- c) Ensayos por imitación (analógicos): Intentan simular en cierto grado de fuerzas y deformaciones a las que está sometido el alimento mientras está siendo consumido (masticación, presión con los dedos, etc.). El resultado obtenido está ligado al proceso de análisis. Ejemplo de estos instrumentos es el texturómetro para simular el proceso de masticación (Lewis, 1993). Las pruebas texturales se realizan con métodos imitativos y empíricos.

### **1.5.1.1 Propiedades mecánicas**

Estas describen la forma en que un material, soporta fuerzas aplicadas, incluyendo fuerzas de tensión, compresión, impacto, cíclicas o de fatiga, o fuerzas a altas o bajas temperaturas y tienen como finalidad estimar o evaluar la magnitud de algún aspecto de la textura de los alimentos (Alvarado, 2001).

A continuación se explican algunas propiedades de los alimentos (Genot, 2003):

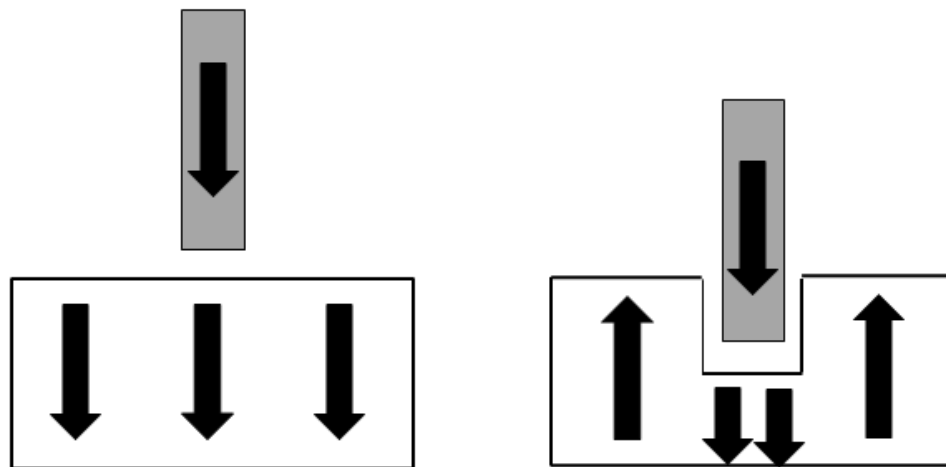
- Tenacidad: Es la propiedad que tienen ciertos materiales de soportar, sin deformarse ni romperse, los esfuerzos bruscos que se les apliquen.
- Elasticidad: Consiste en la capacidad de algunos materiales para recobrar su forma y dimensiones primitivas cuando cesa el esfuerzo que había determinado su deformación.
- Dureza: Es la resistencia que un material opone a la penetración.
- Fragilidad: Un material es frágil cuando se rompe fácilmente por la acción de un choque.
- Plasticidad: Aptitud de algunos materiales sólidos de adquirir deformaciones permanentes, bajo la acción de una presión o fuerza, sin que se produzca rotura.
- Ductilidad: Considerada una variante de la plasticidad, es la propiedad que poseen ciertos materiales para poder estirarse en forma de hilos finos.

- Maleabilidad: Otra variante de la plasticidad, consiste en la posibilidad de transformar algunos metales en láminas delgadas.

### 1.5.2 Prueba de compresión

Este es uno de los ensayos más comunes para la medición de las propiedades de deformación de muchos materiales alimentarios. El ensayo consiste en aplicar esfuerzos constantes y crecientes ( $\sigma$ ) hasta llegar a la ruptura (materiales frágiles) o el aplastamiento (materiales dúctiles), y anotar continuamente la evolución simultánea de la deformación del producto y del esfuerzo ejercido para obtener esta deformación, lo cual se observa en la Figura 11 (Rosenthal, 2001).

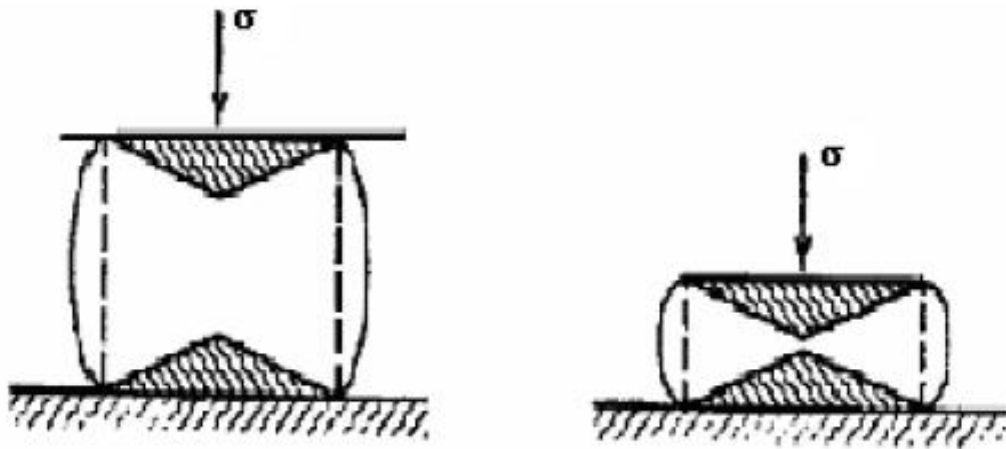
En esta prueba se controla la deformación de la muestra y se mide la fuerza; el dispositivo que comprime la muestra (cilindro o placa) debe ser de mayor área que la muestra a fin de evitar corte o cizalla (Bourne, 2002).



**Figura 11.** Representación esquemática de un ensayo de compresión (Celis, 2007).

### 1.5.3 Prueba de Punción

La prueba de punción es uno de los principios más simples, rápidos y versátiles. Esta prueba mide la fuerza requerida para empujar un punzón o sonda en un alimento; es una prueba en la que se mide la fuerza y se controla la distancia. La penetración del punzón sobre el alimento causa un aplastamiento irreversible, es decir, es una prueba destructiva como se muestra en la Figura 12.



**Figura 12.** Representación esquemática de un ensayo de punción (Bourne, 2002).

Una prueba de punción asume una geometría semi-infinita, lo que significa que la muestra es más grande que el dispositivo, de manera que los resultados no se vean afectados por los lados, fondo, orillas y esquinas del alimento; no importa si el tamaño del alimento aumenta mientras se utilice el mismo dispositivo. Una regla general es que el diámetro de la muestra debe ser al menos 3 veces mayor que la del dispositivo. Esta prueba se utiliza comúnmente en la industria cárnica (Bourne, 2002; Sebranek, 2011).

### 1.6 Capacidad de retención de agua

Guerrero y Arteaga (1990) definen la capacidad de retención de agua (CRA) como la capacidad que tiene la carne para retener el agua libre durante la aplicación de fuerzas externas, tales como el corte, la trituración y el prensado; durante una

aplicación más suave de cualquiera de estos tratamientos, hay una cierta pérdida de humedad, debido a que una parte del agua presente en la carne se encuentra en forma libre.

Las propiedades físicas más importantes de la carne (color, firmeza, jugosidad y textura de la carne), están estrechamente relacionadas con la CRA. Esta tiene un efecto directo durante el almacenamiento. Cuando los tejidos tienen poca CRA, las pérdidas de humedad y de peso durante su almacenamiento (mermas) son grandes (Forrest, 1979).

La CRA es causada en primer lugar por una inmovilización de agua de los tejidos en el sistema miofibrilar más específicamente el agua es mantenida o atrapada en el músculo o producto muscular por una acción capilar que es generada por pequeños poros o capilares, teniendo en cuenta además que las miofibrillas ocupan aproximadamente el 70% del volumen total de la masa molecular, esto significa que una notable parte del agua inmovilizada debe estar localizada en los filamentos gruesos y entre los filamentos gruesos y finos de las miofibrillas.

El agua es retenida en el interior de una red de fibras musculares de dos maneras:

- 1) La acción de cargas eléctricas de las proteínas que permiten fijar firmemente un cierto número de moléculas de agua.
- 2) La acción ligada a la configuración espacial más o menos abierta de ésta red y consecuentemente la posibilidad más o menos importante de contener y retener las moléculas de agua.



El agua más fácil de extraer es el agua extracelular y de hecho es la que origina el llamada *drip loss* o “pérdida por goteo”. Si se aplica una fuerza sobre el sistema, parte del agua inmovilizada se libera como agua perdida; mediciones de ésta agua liberada son usadas como indicador de las propiedades de ligar el agua de las proteínas.

El pH tiene un efecto definitivo en la CRA; el descenso del pH provoca un encogimiento de la red de cadenas polipeptídicas que conlleva a una disminución de la capacidad de la carne para retener agua. El poder de retención de agua está estrechamente ligado al último pH y guarda un valor más alto cuanto más alto sea el valor de pH. La velocidad a la que el último pH se estabilice tiene también influencia. Cuando la caída de pH es más rápida, las alteraciones sufridas por las proteínas miofibrilares y sarcoplasmáticas se traducen por un descenso en el poder de retención de agua (Ranken, 2003).

La disponibilidad de carga está asociada con el pH último del músculo. A pH considerados altos (>6,0) o por debajo del punto isoeléctrico de la actomiosina (aprox. 5,0) que constituye el mayor porcentaje de las proteínas estructurales del músculo, el número de cargas disponibles está aumentando, incrementando de este modo la CRA. Por otra parte, una aproximación al punto isoeléctrico determina una pérdida de la CRA, por la lógica disminución de cargas libres (Lawrie, 1998); según avanza la rigidez cadavérica, se induce una degradación de ATP en el músculo y se produce un mayor entrecruzamiento entre la actina y la miosina, lo que da como resultado una reducción considerable de la CRA durante las primeras horas *post-mortem*. Este fenómeno hace que la CRA del músculo *pre-rigor* sea mucho mayor que en el músculo *post-rigor* (Guerrero y Arteaga, 1990).

### 1.6.1 Factores que influyen en la capacidad de retención de agua de la carne

#### a) Intrínsecos

- Tipo de músculo. Existen diferencias entre músculos de un mismo animal o incluso se han señalado variaciones del mismo músculo. La relación agua/proteína influirá en la CRA; disminuyendo conforme aumenta esta relación. Existe una mayor preponderancia de músculos rojos que tienen un mayor pH último y mayor CRA en la espalda que en el lomo o la pierna. En la carne vacuna como en la porcina el *l. dorsi* tiene una menor CRA que el músculo *psoas* (Lawrie, 1998).
- Especie. En general, el ganado porcino tiene carnes más exudativas al ser más sensible al estrés, en los bóvidos existe una tendencia a producir carnes DFD, ocupando el ovino una posición intermedia.
- Raza. En el ganado bovino la CRA tiende a disminuir cuando el desarrollo muscular (hipertrofia de tipo culón) aumenta (Hawkins y col., 1985).
- Sexo. No parece ser muy importante, aunque algún autor muestra alguna influencia posiblemente debido al mayor engrasamiento de las hembras (Kauffman y col., 1986).
- Edad. En los bovinos el poder de retención de agua disminuye con la edad siendo menor el porcentaje de jugo exprimible en la carne de ternera que en la de vaca.

b) Extrínsecos

- Manejo pre-sacrificio. El pH influye en el transporte, sacrificio, oreo, etc. La CRA de la carne disminuye en animales mantenidos largos períodos sin agua y comida, aunque 24 h de transporte incrementa la CRA. Los antitiroideos (metiltiouracilo) se utilizaron durante mucho tiempo en alimentación del ganado con objeto de aumentar el peso del animal para obtener un mayor rendimiento. Estas sustancias producen un aumento de la retención de líquidos, lo que supone un fraude económico, por lo que está prohibida su administración desde 1973. Las carnes hormonadas se caracterizan por una excesiva retención de agua, que se libera durante el cocinado quedando al final una carne seca, insípida y descolorida. En la actualidad está prohibida la utilización de estos productos en el cebo.
- Estimulación eléctrica (E.E.). En condiciones de E.E. moderada Laroche (1980) citado por Lawrie (1985) no observó nunca influencia negativa. Este hecho puede aprovecharse para permitir un calentamiento inmediato de los cortes que hayan de industrializarse y deben conservar todavía gran CRA.
- El pH. Es un factor importante ligado a la CRA, el descenso de pH provoca un encogimiento de la red de cadenas polipeptídicas que conlleva a una disminución de la carne a retener agua. Cuando más alto es el pH la CRA aumentará. Cuando la caída de pH es acelerada, las alteraciones sufridas por las proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas hacen que se presente un descenso en la retención de agua (Oliver y col., 1990). El pH de último de la carne de cerdo y de ternera suele ser superior a la del ganado vacuno adulto (Lawrie, 1998).
- Pérdidas de peso por evaporación. Se deben a que la presión parcial del vapor de agua en el entorno (generalmente aire) es inferior a la del

producto. Estas pérdidas son directamente proporcionales a la superficie de contacto, a la diferencia de las presiones de vapor y a la duración del tratamiento. Esta propiedad depende de la velocidad de circulación del aire y del estado físico del producto (Lawrie, 1998).

- **Temperatura.** Varios estudios (Martens y col., 1982) han demostrado que un incremento de la temperatura produce un aumento de las pérdidas por cocinado. La elevación de la temperatura interna tiene un efecto significativo en el agua libre y ligada. La temperatura óptima para conversión de agua ligada en agua libre es de 70°C. Calentando el músculo a mayores temperaturas disminuye la CRA debido a la agregación de los sistemas proteicos. La disminución de la CRA se aprecia a partir de los 40°C y la modificación más importante tiene lugar entre los 40 y 50°C. La duración del calentamiento influye como máximo en el 10% de la disminución de la CRA, a temperaturas de calentamiento relativamente bajas (50-60°C).

### **1.6.2 Técnicas para medir la retención de agua en la carne**

Las variaciones en la capacidad de retención de agua se relacionan con el modo en que el agua físicamente unida es encerrada en la estructura cárnica. Las medidas de la CRA se realizan normalmente exponiendo la carne a fuerzas de tal magnitud, que el agua se libera. La relación entre el agua liberada y la presión ejercida están lejos de ser lineal. Cuando el objetivo es comparar la CRA de diferentes muestras de carne, es importante que una presión alta, adecuada y constante, se aplique bajo circunstancias estándar (Price y Scheweigert, 1994).

Algunos métodos conocidos son los siguientes:

- a) Técnicas basadas en pérdida de peso:

Goteo. Se mide manteniendo las piezas de carne en bolsas de polietileno; después de un intervalo determinado se mide el peso o volumen del líquido recogido en el fondo de la bolsa. El goteo de la carne es pequeño (aproximadamente 0-3%) pero en casos excepcionales puede ser más alto (Onega, 2003).

Cocinado. Se basa en el cálculo del agua expulsada a partir de una muestra de carne, una vez que ha sido sometida a cocción en un baño en ebullición (Onega, 2003).

b) Técnica de laboratorio:

Centrifugación: La proporción de líquido extraído de la carne depende de las condiciones en las que se realice la extracción; por medio de la centrifugación a velocidades altas, es posible conseguir resultados constantes (Prandl y col., 1994).

c) Técnica de presión en papel filtro:

Compresión. Se ha de observar especialmente el método de la prensa de Grauhamm. Un peso estándar de muestra sobre un papel de filtro se presiona entre dos placas (de esta forma se libera el agua <<libre>>), y se anota el área del papel humedecido por el líquido exudado procedente de la muestra. La presión aplicada no es muy crítica, por ejemplo se puede emplear un simple tornillo manual; otra variación de este método es pesar la muestra antes y después de la compresión para registrar la diferencia de peso y expresarla como cantidad de agua expulsada (Prandl y col., 1994; Ranken, 2003).

### 1.7 El pH en la carne

La vida de anaquel de la carne fresca está influida por el pH del producto, el cual puede variar de 5.5 a 6.5, e incluso puede ser mayor dependiendo de la especie, el músculo y el grado de estrés previo al sacrificio el animal (Guevara, 2010).

El pH de la carne depende de varios factores, entre otros, la condición *post-mortem* del animal y el tiempo posterior de almacenamiento. En el primer caso se pueden presentar las condiciones PSE (principalmente en el cerdo) y DFD (en vacuno). En la carne PSE el pH final es de 5.5 y se alcanza muy rápidamente y en la carne DFD el pH queda en 5.8.

El pH de la carne aumenta durante el almacenamiento por la formación de compuestos aminados resultantes de la putrefacción; la humedad de la carne depende de la CRA, y esta a su vez depende del pH, de la concentración de proteínas hidrofílicas y de la presencia de iones (Ca, Cl, K, Na, PO<sub>3</sub>, etc.). A un pH de 5.8 a 6.0 la CRA es máxima, mientras que un alejamiento de este punto provoca la desnaturalización de proteínas y, por tanto, una baja en la CRA (Guerrero y Arteaga, 1990).

La carne normal, es decir, aquella que presenta color, consistencia y humedad normales, está caracterizada por un valor de pH final de 5.5 a las 24 horas del sacrificio. En este tipo de carne la rigidez cadavérica se inicia a una temperatura cercana a los 20°C y bajo estas condiciones ocurren en el músculo ciertas modificaciones bioquímicas (Braun y Pattacini, 2011).

La durabilidad de las carnes tiene relación directa con su acidez y se ha demostrado que la descomposición bacteriana es más lenta en la carne que tiene un pH de 6.0 o más bajo, que en la carne con pH elevado. Las investigaciones muestran que las carnes en preparación que tienen un pH de 6.0 o más bajo,

constituyen un medio que inhibe el desarrollo de las bacterias causantes de la fermentación que en un pH más elevado (Libby, 1981).

### **1.7.1 Técnicas para medir el pH en la carne**

La definición científica del pH relaciona el pH con la concentración de iones hidrógeno; el pH se define como una escala convencional determinada a través de una serie de disoluciones tampón (buffer) exactamente definidas.

La medición de pH se efectúa mediante colorimetría (indicadores) o mediante electrometría. El primero de estos procedimientos es sencillo y barato; sobre una varilla de celulosa se fijan unos indicadores de color de manera tal, que al humedecerse no se borre el color sino que se mantenga sobre la varilla. Los indicadores cambian de color a determinados valores. La determinación tiene una precisión de 0,1 unidades de pH.

El método electroquímico se basa en medir la tensión de cadena entre dos electrodos que están unidos entre sí por un instrumento medidor de gran resistencia interna. Se trata de una cadena galvánica en cuyos límites de fase tiene lugar un intercambio de carga, que es el que provoca las tensiones galvánicas. En el electrodo de referencia tienen que ser constantes la tensión entre los electrodos y la tensión de difusión. El electrodo vítreo de medida, está construido con un vidrio especial en cuya superficie se desarrollan los procesos de intercambio entre los iones alcalinos del vidrio y los iones de hidrógeno del material analizado. Este vidrio sensible al pH adquiere un determinado potencial eléctrico en función de la actividad de los iones de hidrógeno del material analizado. Se trata, de una medición sin corriente: no se modifica la composición química del material analizado (Prandl y col., 1994).

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

#### 2.1 Objetivos

##### a) General

Evaluar el efecto del envasado en atmósferas modificadas sobre la pigmentación y vida útil de la carne de res fresca como parámetro de calidad, mediante la sustitución de N<sub>2</sub> por Ar en una mezcla de gases tradicional (CO, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>).

##### b) Particulares

1. Evaluar el efecto del envasado en atmósferas modificadas sobre la pigmentación y la vida útil de la carne de res fresca determinando las propiedades fisicoquímicas (color y pH).
2. Evaluar la influencia de las diferentes concentraciones de las mezclas de los gases en la capacidad de retención de agua y dureza mediante la determinación de textura (compresión y punción) de la carne de res fresca.

#### 2.2 Justificación de variables

Desde hace muchos años hasta la fecha el color de la carne ha sido un indicador de frescura para el consumidor, siendo esto a veces un problema dado que la carne no es adquirida por el consumidor si esta no es de color rojo cereza sin saber que esta también es fresca, además, en la actualidad la carne es envasada en atmósferas modificadas en las que se utiliza el nitrógeno como parte de una mezcla de gases aun cuando también se puede utilizar en su lugar argón; la



finalidad de este trabajo es evaluar el comportamiento al someter a diferentes concentraciones de gases a la carne de res fresca al generarse el envasado en atmósfera modificada. Se eligió un corte de carne denominado “*Sirloin*” ya que los cortes de carne tienen secciones transversales de varios músculos y el mismo músculo difiere en tamaño, forma y localización y puede aparecer en cortes consecutivos; el *Sirloin* tiene parte del músculo *longissimus dorsi*, *psoas mayor*, *cuadrado lumbar*, *psoas menor* entre otros; debido a que muchos autores utilizan diferentes músculos siendo uno de los principales el *longissimus dorsi* se optó por utilizar este corte. La carne fue almacenada en bolsas que tenían las mismas dimensiones, conteniendo diferentes concentraciones de gases y se determinó color, pH, CRA y dureza; en la Tabla 2 se observan el factor y los niveles de variación, así como las técnicas e instrumentos que fueron utilizados para medir dichos parámetros. La variable que se controló en el proceso de almacenamiento fue la temperatura (2°C).

**Tabla 2.** Variables y condiciones experimentales durante el almacenamiento de la carne.

Factor de variación	Nivel de variación	N° de repeticiones	Variable dependiente	Variable de respuesta	Técnica/instrumento de medición	
Composición de la atmósfera	<b>Testigo</b> (refrigeración y vacío).	3	Color	Grado de pigmentación y vida útil de la carne	Colorímetro/Análisis de imagen-Cámara oscura (L*, a*, b*)	
	<b>Tradicional</b> [0.4% CO, 30% CO <sub>2</sub> Y 69.60% N <sub>2</sub> ]					
	<b>Argón 1</b> [0.1% CO, 30% CO <sub>2</sub> y 69.90% Ar]		pH		CRA y Dureza	Potenciómetro
	<b>2</b> [0.5% CO, 30% CO <sub>2</sub> y 69.50% Ar]					
<b>3</b> [1% CO, 30% CO <sub>2</sub> y 69.00% Ar].			Texturómetro/Compresión (Método de presión de papel filtro y ensayo de punción)			

**Condición: T = 2°C**

## 2.3 Materiales

### 2.3.1 Reactivos

Los reactivos utilizados fueron reactivo Baker® (Fosfato), pH 7 y reactivo Baker® (Bifalato), pH 4 obtenidos de M. Baker S.A. de C.V.

### 2.3.2. Material biológico

Se adquirieron 12 kg del corte de carne de res *Sirloin* de un mercado local en Tlalnepantla en el Estado de México que tiene carne de un rastro del mismo lugar respetando las especificaciones de la NOM-194-SSA1-2004; la carne posteriormente fue trasladada al laboratorio 16 de la Unidad Multidisciplinaria de Investigación en FESC Campo 4 para ser almacenada a 2°C, para su posterior utilización. La materia prima se seleccionó de acuerdo a su color, apariencia fresca y olor característico. El promedio del tamaño del corte fue de 10 cm x 6 cm y un peso de 106.09 g.

### 2.3.3. Material de envase

Se utilizaron bolsas tipo *pouch* Cryovac® PC7225B, material laminado por el proceso de coextrucción que tiene propiedades finales de resistencia al abuso mecánico y una excelente barrera al oxígeno, cuenta con un espesor nominal de 2.5 milésimas de pulgada, una velocidad de transmisión de O<sub>2</sub> de 6 cm<sup>3</sup> (m<sup>2</sup>/día a 23°C, 0% HR) y vapor de agua de 14 g (m<sup>2</sup>/día a 38°C y 90% HR), una capa de *nylon* y el sellante a base de polietileno modificado; monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), nitrógeno (N<sub>2</sub>) y argón (Ar), proporcionados por INFRA S.A. de C. V., división de gases especiales, Absorbedor Dri-Loc® DLSA40 (tamaño 10 x 17.5 cm, peso de 2.3 g y absorberencia de 40-50 ml) que cumple con las legislaciones sanitarias de FDA (*Food Drug and Cosmetic Administration*) y charolas de polietileno de Leon®. Debido a que comercialmente no se encontraban disponibles las bolsas con las áreas solicitadas para llevar a cabo la

experimentación, estas se cortaron y sellaron del tamaño de las dimensiones requeridas (16x17cm).

## **2.4 Métodos**

### **2.4.1 Acondicionamiento del equipo frigorífico**

Para mantener las condiciones adecuadas de almacenamiento en refrigeración durante la experimentación se llevó a cabo el acondicionamiento del equipo frigorífico para que mantuviera la temperatura de 2°C, se utilizó un refrigerador de la marca WHITE-WESTINGHOUSE. Se registró la temperatura empleando un Data Logger (MODELO: EL-USB-TC) de Lascar Electronics Inc. que fue programado con el software EasyLog USB versión 5.45 para monitorear la temperatura durante 72 horas, muestreando en diferentes puntos del equipo frigorífico; se colocaron aislantes de aire en el primer nivel del refrigerador debido a que la temperatura era más baja que la de los niveles 2 y 3.

### **2.4.2 Preparación de la carne**

Previo al envasado de la carne, con la finalidad de no contaminar el producto con microorganismos del entorno se recurrió al lavado y desinfección del área y materiales a utilizar, esto se llevó a cabo lavando con jabón y desinfectando con hipoclorito de sodio a una concentración de 150 ppm.

### **2.4.3 Envasado de la carne**

Se envasaron 6 lotes de carne, de los cuales un lote se selló para tener la referencia del comportamiento de la carne en refrigeración sin ningún tratamiento, otro lote se envasó a vacío y los otros 4 lotes se envasaron a diferentes concentraciones de gases. El envasado de la carne de res fresca se llevó a cabo en un equipo MULTIVAC Modelo: A300/16 de Sepp Haggemuller GmbH & Co, unida a un mezclador de gases Dansensor® Modelo: MAP MIX 9001-3/200B esta

serie se basa en el principio de mezcla proporcional de gas, cuenta con tres entradas para gases a una presión de 8.5 a 10 bar.

En la Tabla 3 se resumen las concentraciones de los gases empleados en el envasado. Estas concentraciones se eligieron basadas en algunas recomendaciones por diversos autores citados por Jeong y Claus (2010), para extender la vida útil de la carne sometida a atmósfera modificada.

Las bolsas de carne se almacenaron a 2°C durante 15 días y se muestrearon cada tercer día dando como resultado 6 días de medición.

En la Figura 13 se muestra el equipo empleado para generar la atmósfera modificada en la carne, la Figura 13a muestra la envasadora de campana en la que se llevó a cabo la inyección de gases o el sellado y envasado a vacío según correspondiera de acuerdo con el diseño experimental, la Figura 13b muestra el equipo empleado para realizar el mezclado de los gases, CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ó CO<sub>2</sub>/Ar que fue inyectado a los diferentes envases.

**Tabla 3.** Mezcla de gases en el envasado de carne de res fresca.

Gases de envasado	Concentración 1	Concentración 2	Concentración 3	Concentración 4
N <sub>2</sub>	69.60	-	-	-
CO <sub>2</sub>	30	30	30	30
CO	0.4	0.1	0.5	1
Ar	-	69.90	69.50	69.00



**Figura 13.** a) Equipo MULTIVAC b) Equipo mezclador de gases Dansensor<sup>®</sup> c) Carne envasada en atmósfera modificada.

La Figura 14 muestra la forma en que el producto una vez envasado fue acomodado en la cámara de almacenamiento, durante 15 días en los que se llevó a cabo el monitoreo de los cambios de calidad.

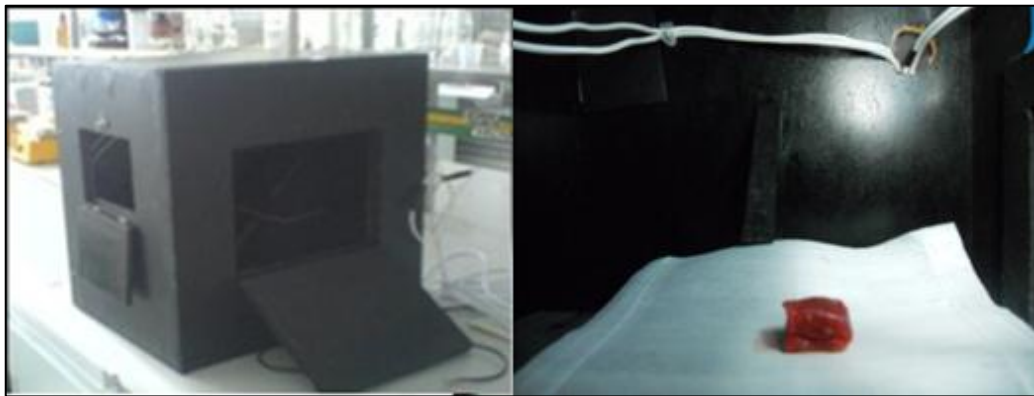


**Figura 14.** Almacenamiento de la carne

#### **2.4.4 Determinación del color**

La medición de color se realizó por dos métodos, el primero fue por el método desarrollado por Padrón (2009) y por Girolami y col. (2013) para obtener muestras

segmentadas de alimentos mediante una herramienta de diseño computarizado, para ello se dispuso de un escenario (cámara oscura), una cámara digital Nikon de 14 megapíxeles y el software Adobe® Photoshop® CS5 Extended. El montaje del escenario consistió en colocar dentro de la caja oscura un tripié que sostiene la cámara de una resolución de 300 píxeles/pulgada, programada con un temporizador de 10 segundos, sin zoom, ni flash. La iluminación que se le adecuó estaba constituida por dos focos de 10 watts colocados a contra esquina en la parte superior e inferior con un ángulo de 90° entre la cámara y la muestra (Figura 15).



**Figura 15.** Adaptación de la cámara oscura para la medición del color

El segundo método utilizado fue el del colorímetro; se utilizó un colorímetro MINOLTA CM-5 con una caja petri de 30 mm de diámetro y con iluminante D<sub>65</sub> (Figura 16). Tanto para la medición con la cámara oscura como con el colorímetro se realizaron 3 réplicas para cada muestra de carne.

Se obtuvieron las coordenadas de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  y se calculó el croma ( $C^*$ ) y el ángulo Hue ( $h_{ab}^*$ ) (AMSA, 2012), las expresiones utilizadas se presentan a continuación:

$$L^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$h^*_{ab} = \text{arc tang} \left( \frac{b^*}{a^*} \right)$$



**Figura 16.** Medición de color en el colorímetro MINOLTA CM-5.

#### 2.4.5 Determinación del pH

Se añadieron 100 ml de agua destilada a 10 g de carne y se homogeneizaron con una batidora de inmersión Taurus España S.A. de C.V. ROBOT 180, durante 1 min. Se filtró el homogeneizado y se estandarizó el potenciómetro de bolsillo HANNA instruments Checker® Hannapro S.A. de C.V. modelo HI 98103, con buffer de fosfatos de pH 4.0 y 7.0. Se midió el pH filtrado (Guerrero y Arteaga, 1990).

#### 2.4.6 Determinación de la capacidad de retención de agua (CRA)

Se empleó el método de Grau y Hamm (1981) con una variación que consistió en la colocación de un papel Whatman del número 4 de 5 cm de diámetro en la parte superior e inferior de la carne (Celis, 2007). La prueba se realizó por quintuplicado, utilizando bloques de res de (2x2x1.5) cm y fueron sometidos a compresión a una velocidad de 1.5 mm/s hasta el 35% de su espesor inicial, en un texturómetro de Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Modelo CT3 equipado con una celda de



carga de 25 kg; se empleó la sonda TA 25/1000 con el elemento TA-BT-KIT (Figura 17).

Se registró el peso inicial y final de cada muestra en una balanza analítica m-power Sartorius Modelo MSE 224S con una precisión de 0.1 mg antes de la prueba de compresión. Posteriormente se obtuvo la CRA por diferencia a 100% con respecto al agua exudada:

$$\%CRA = \left( \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \right) * 100$$



**Figura 17.** Texturómetro Brookfield® CT3 realizando prueba de compresión.

#### **2.4.7 Prueba de resistencia a la punción**

Para la prueba de punción las muestras de carne fueron cortadas en cubos de (2x2x1.5) cm; se utilizó el texturómetro de Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Modelo CT3 equipado con una celda de carga de 25 kg; se empleó la sonda cilíndrica TA24 de 5 mm de diámetro con el elemento TA-BT-KIT; se empleó una carga de activación de 0.15 N y la velocidad de prueba fue de 2.5 mm/s (Figura

18); la acción del texturómetro se realizó en sentido transversal a las fibras musculares (Álvarez y Moreira dos Santos, 2001); dando como resultado la dureza y el % de deformación según dureza. La prueba se realizó por quintuplicado.



**Figura 18.** Texturómetro Brookfield® CT3 realizando prueba de punción.

#### **2.4.8 Análisis estadístico**

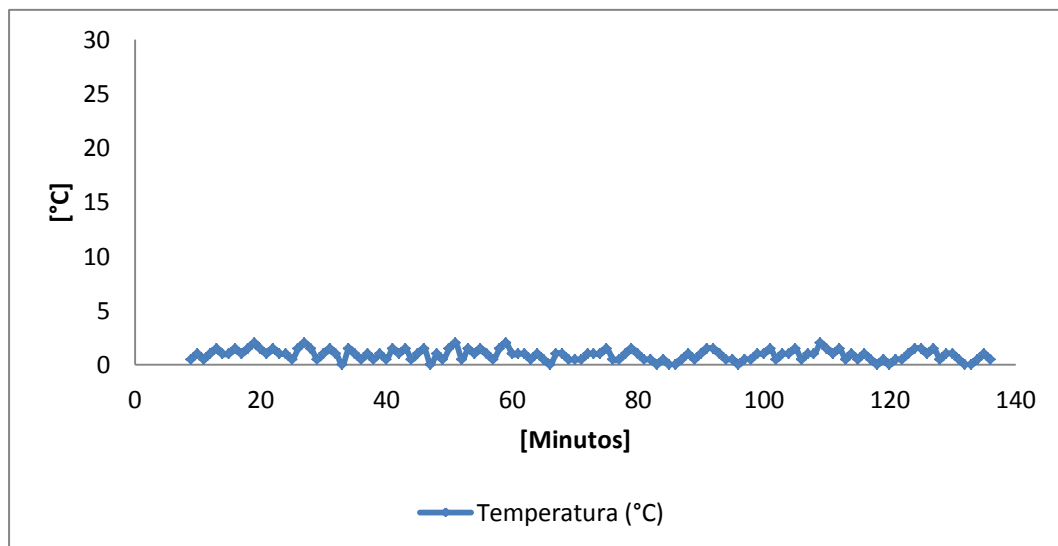
La variación entre las medias de los tratamientos fueron analizadas mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) de dos vías con el fin de establecer si existió diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos y realizar posteriormente una comparación de medias mediante pruebas de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ). El software empleado para realizar el tratamiento de los datos fue Minitab® 16. En la ANOVA de dos vías se consideraron los factores tratamiento de envasado y tiempo de almacenamiento.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Acondicionamiento del equipo frigorífico

Para lograr incrementar la vida útil de la carne envasada en atmósferas modificadas es muy importante mantener la temperatura lo más próxima posible a 0°C y no superar los 4°C (Brody, 1996); por ello la importancia de la caracterización del equipo frigorífico para el control de la temperatura durante el almacenamiento de la carne. Las temperaturas fueron tomadas en los tres niveles del refrigerador y en tres puntos específicos (izquierda, centro y derecha) y se pusieron aislantes en la parte superior del refrigerador para mantener la temperatura. En la Figura 19 se muestran los resultados de la caracterización del equipo frigorífico, la temperatura registrada dentro del refrigerador fue de 0 a 2°C.



**Figura 19.** Registro de temperaturas del equipo frigorífico empleado para el almacenamiento de la carne.

### 3.2 Determinación del color

Kropft, 1980 y Walker, 1980 citados por Jeong y Claus (2010) mencionan que el color es el criterio más utilizado para juzgar la vida útil y la aceptabilidad de la carne fresca. Las decisiones de compra de la carne están más influenciadas por la apariencia del producto que cualquier otro factor de calidad (Tapp y col., 2011).

En la medición del color mediante la cámara oscura y el colorímetro se evaluaron las coordenadas de cromatografía ( $a^*$ ,  $b^*$ ) y la luminosidad ( $L^*$ ) del espacio de color CIELAB, así como los atributos de color: croma ( $C^*$ ) y el ángulo Hue ( $h_{ab}^*$ ) con el fin de evaluar el efecto del envasado en atmósferas modificadas sobre la pigmentación de la carne durante su almacenamiento y compararlo con el envasado al vacío y el envasado sin ningún tratamiento (refrigeración). Los valores obtenidos en la caracterización de la materia prima fueron los siguientes: las coordenadas  $L^*=42$ ,  $a^*=28$ ,  $b^*=20$ , el croma ( $C^*=34$ ), ángulo de tono ( $h_{ab}^*= 36$ ); estos valores se utilizaron para el control previo a la experimentación.

Seyfert y col. (2007) reportan valores para cinco músculos de carne de res fresca similares a los obtenidos, los cuáles se reportan en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Valores de color del espacio CIELAB de diferentes músculos de carne de res fresca.

	PM	LL	SSM	DSM	ST
$a^*$	32.9	33.7	32.8	34.6	32.0
$b^*$	26.6	27.0	27.3	29.5	25.5
$L^*$	49.4	42.6	42.1	54.4	47.4
Croma	42.3	43.1	42.7	45.4	41.0

(Fuente: Seyfert y col., 2007).

PM= psoas mayor  
 LL= longissimus lumbar  
 SSM= semimembranoso superficial  
 DSM= semimembranoso bajo  
 ST= Semitendinoso

### 3.2.1 Determinación del color mediante cámara oscura

#### 3.2.1.1 Valores de $a^*$

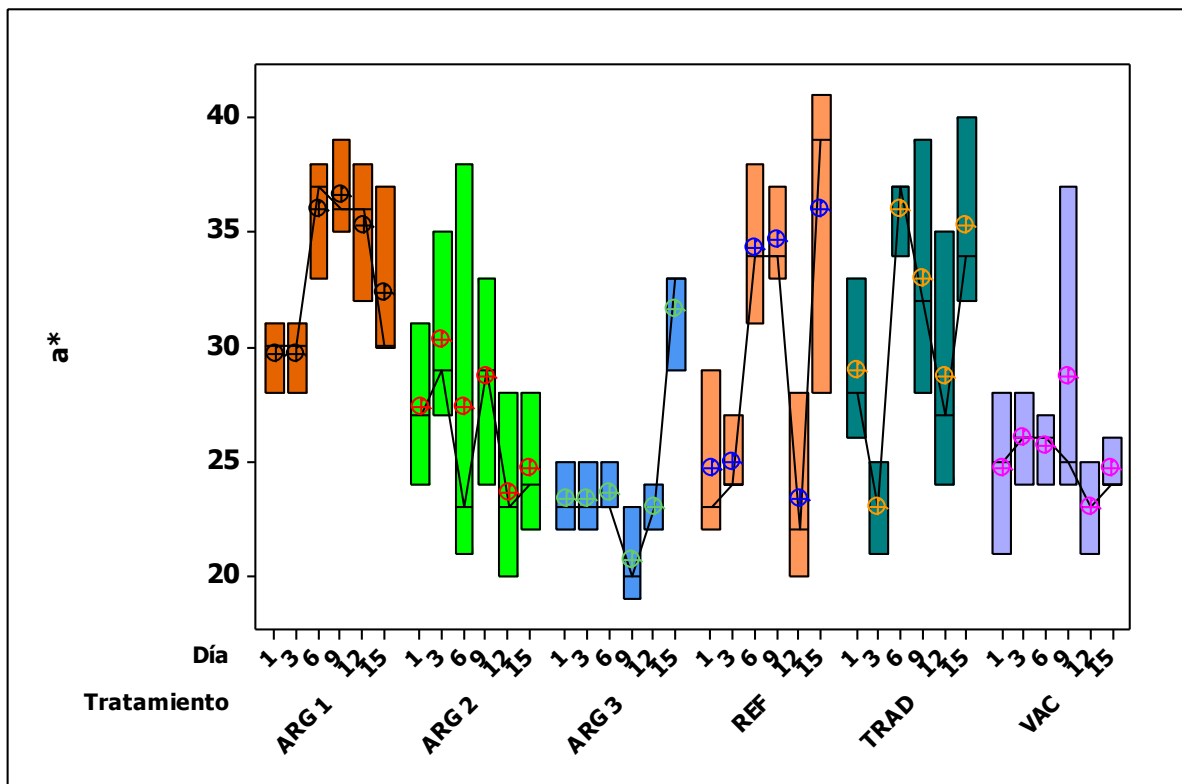
En la Figura 20 se observa que los valores de  $a^*$ = coordenadas rojo/verde (+  $a$  indica rojo, - $a$  indica verde), muestra que los tratamientos con Argón presentan una mayor homogeneidad en los datos siendo argón 2 y argón 3 los más estables en el mantenimiento del color del producto durante el almacenamiento, seguido por argón 1, es importante resaltar que entre los tratamientos de argón los valores más altos de  $a^*$  se presentaron en argón 1, después argón 2 y por último argón 3. Con lo que respecta a los tratamientos de refrigeración, tradicional y vacío, este último presentó menor homogeneidad que los otros dos, probablemente debido a la forma en que se acomodaron los envases. En el día 1 y 3 del tratamiento de argón 1 los valores de  $a^*$  estuvieron alrededor de 30, elevándose para el día 6, 9 y 12 (valores de 39), disminuyendo el último día (valores de 31). Se establece que existió diferencia significativa tanto para los días como para los tratamientos con respecto a la media poblacional ( $\alpha = 0.05$ ).

Aspé y col. (2008) realizaron un experimento en donde midieron el color en tres diferentes atmósferas, la primera fue de 70% O<sub>2</sub> + 30% CO<sub>2</sub>, la segunda 0.1% CO/20% CO<sub>2</sub>/ 79.9% N<sub>2</sub> y la tercera de 0.4% CO/ 20%CO<sub>2</sub>/ 79.6% N<sub>2</sub>, donde el valor  $a^*$  fue significativamente superior ( $p < 0.05$ ) para la primer y segunda atmósfera. Sin embargo, la intensidad del color rojo para la primer atmósfera presentó un valor máximo de  $a^*$  hasta los 13 días de almacenamiento y luego disminuyó, mientras que las atmósferas con CO presentaron una tendencia hacia el aumento de intensidad del rojo hasta los 50 días de almacenamiento, para luego conservar los valores de  $a^*$ ; lo que demostró las ventajas del uso del CO para envasado MAP.

Girolami y col. (2013) reportaron valores de  $a^*$  de diferentes músculos de carne de res utilizando el iluminante D<sub>65</sub> mediante el método de la cámara oscura;

*longissimus dorsi*  $a^* = 32.84 \pm 1.22$ , *semimembranosus*  $a^* = 33.08 \pm 1.20$  y *semitendinosus*  $a^* = 31.15 \pm 1.03$ . Los resultados corroboran que los valores de  $a^*$  obtenidos por el método de la cámara oscura concuerdan por los reportados por estos autores.

Realizando la comparación con el músculo *longissimus dorsi* los tratamientos que tuvieron menores diferencias con respecto a los reportados fueron los tratados con atmósfera modificada empleando argón como gas de desplazamiento de oxígeno (1, 2 y 3), las refrigeradas y en almacenamiento tradicional.



**Figura 20.** Valores de  $a^*$  en carne en función a los factores concentración de gases y tiempo de almacenamiento (cámara oscura). (ARG1 = pretratamiento con 0.1 % de CO y envasado con 69.90 % de argón y 30 % CO<sub>2</sub>; ARG2 = pretratamiento con 0.5 % de CO y envasado con 69.50 % de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; ARG3 = pretratamiento con 1 % de CO y envasado con 69.00% de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; REF =almacenamiento refrigerado; TRAD = pretratamiento con 0.4 % de CO y envasado con 30 % de CO<sub>2</sub> y 69.60 % de N<sub>2</sub>; VAC = envasado a vacío).

### 3.2.1.2. Valores de $b^*$

En la Figura 21 se observa que los valores de  $b^*$ = coordenadas amarillo/azul (+ $b$  indica amarillo, - $b$  indica azul), indica que los tratamientos con mayor homogeneidad fueron con argón 3, tradicional y vacío pero en este último se observa una clara diferencia con los demás tratamientos; el tratamiento a vacío tiene valores más bajos. Se muestra que si hubo diferencia significativa para los días y los tratamientos con respecto a la media poblacional ( $\alpha = 0.05$ ). Los tratamientos que presentaron mayores valores fueron argón 1, argón 2 y tradicional. Todos los valores de  $b^*$  obtenidos fueron positivos, es decir, tienden a amarillo.

Girolami y col. (2013) reportaron valores de  $b^*$  de diferentes músculos de carne de res empleando el iluminante  $D_{65}$  y el método de la cámara oscura; longissimus dorsi  $b^* = 22.54 \pm 0.68$ , semimembranosus  $b^* = 24.51 \pm 0.76$  y semitendinosus  $b^* = 23.67 \pm 0.69$ .

Los valores anteriores son parecidos a los de este trabajo, resaltando que al igual que en el valor de  $a^*$ , el valor de  $b^*$  del envasado a vacío es diferente de los resultados reportados.

Pasachoa (2010), realizó un estudio en el que se midió el color en el corte bovino *longissimus dorsi* (solomo) procedente de bovinos Cebú de dos edades, con un tiempo de maduración al vacío de 0, 5 y 10 días (VP 0d MAP, VP 5d MAP, VP 10d MAP), que luego fueron empacados en MAP (30%  $CO_2$ , 0.5% CO y 69.5% de  $N_2$ ) y almacenados durante 21 días en condiciones de refrigeración ( $2^\circ C \pm 2^\circ C$ ), utilizando un iluminante  $D_{65}$  y el colorímetro con un ángulo de  $10^\circ$ ; los valores de  $L^*$  se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Valores promedio de la coordenada  $b^*$  en el corte *longissimus dorsi* (solomo) de carne de bovino Cebú.

Promedio coordenada $b^*$							
EDAD	Tratamiento	DÍA					
		1	4	9	13	18	21
48 meses	VP 0d MAP	16.156	21.084	21.698	23.240	22.011	23.274
	VP 5d MAP	18.494	22.438	23.229	23.520	23.544	24.147
	VP 10d MAP	18.676	21.943	21.076	21.181	21.317	19.730
24 – 36 meses	VP 0d MAP	17.559	20.320	20.463	21.364	22.253	21.990
	VP 5d MAP	19.136	21.129	22.171	24.472	21.494	20.409
	VP 10d MAP	18.000	20.543	25.361	23.788	18.351	20.011

(Fuente: Pasachoa, 2010).

En los resultados presentados por Pasachoa, (2010) se observa que los valores de  $b^*$  van incrementándose conforme transcurren los días de almacenamiento; esta tendencia se presenta en el tratamiento de argón 1, argón 3 y vacío.

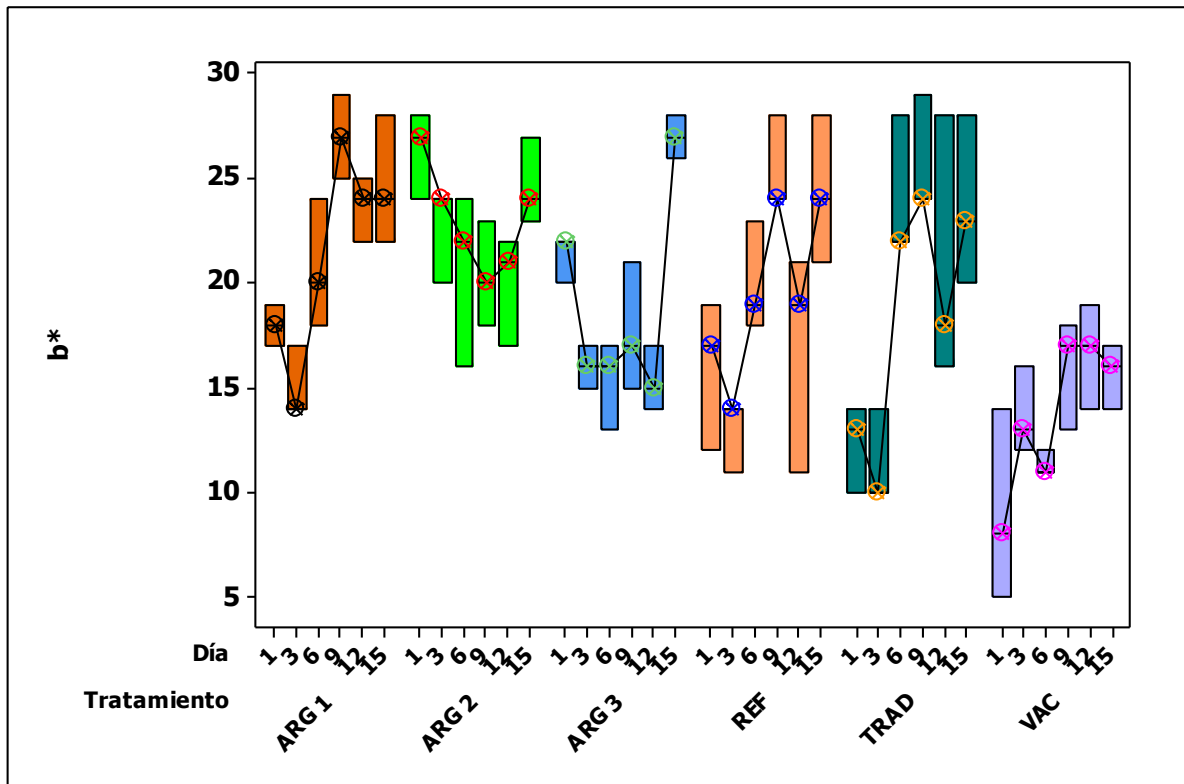
### 3.2.1.3. Luminosidad

La coordenada  $L^*$  es la más relacionada con la valoración visual del consumidor (Murray, 1989). Depende de varios factores como el pH, la capacidad de retención de agua, la humedad, la integridad de la estructura muscular y, en menor medida, del grado de oxidación de los hemopigmentos (Palombo y Wijngaards, 1990; Sayas, 1997). También influye el contenido en grasa, pues las materias primas



con mayor contenido en grasa son las que presentan mayores valores de  $L^*$  (Pérez y col., 1998).

El análisis de varianza de dos vías en la Figura 22 muestra que tanto el tiempo de almacenamiento como el tratamiento de gases llevado a cabo tienen un efecto significativo sobre las variaciones en luminosidad con un  $\alpha \leq 0.05$ . De la prueba de



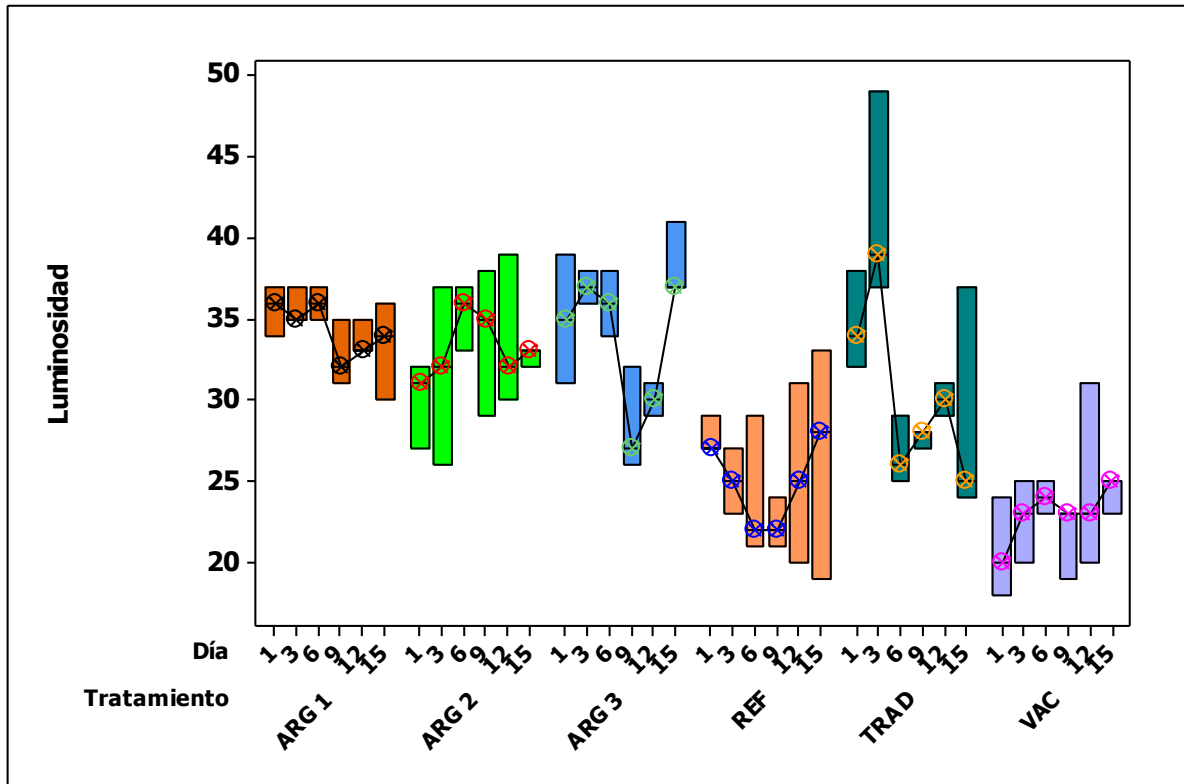
**Figura 21.** Valores de  $b^*$  en carne en función a los factores concentración de gases y tiempo de almacenamiento (cámara oscura). (ARG1 = pretratamiento con 0.1 % de CO y envasado con 69.90 % de argón y 30 % CO<sub>2</sub>; ARG2 = pretratamiento con 0.5 % de CO y envasado con 69.50 % de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; ARG3 = pretratamiento con 1 % de CO y envasado con 69.00% de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; REF =almacenamiento refrigerado; TRAD = pretratamiento con 0.4 % de CO y envasado con 30 % de CO<sub>2</sub> y 69.60 % de N<sub>2</sub>; VAC = envasado a vacío).

ANOVA con respecto al tiempo de almacenamiento, se estableció que no existió diferencia estadísticamente significativa en la luminosidad respecto al tiempo para las muestras de argón 1 y de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) no existió diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos argón 1 y argón 2 con una luminosidad  $> 30$ , resaltando además que con el tratamiento con argón (1, 2 ó 3) contribuye a mantener prácticamente constante la luminosidad durante el periodo de almacenamiento. Por otro lado, el tratamiento tradicional con nitrógeno mostró diferencia estadísticamente significativa cuando se realizó el ANOVA con un valor de  $p=0.008$ , mostrando que a partir del día 6 existió diferencia entre la media de los tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), estableciéndose que a pesar que el tratamiento tradicional con nitrógeno incrementa inicialmente la luminosidad de la carne esta tiende a disminuir conforme transcurre el almacenamiento por debajo de 28. En el caso del tratamiento a vacío, este tuvo valores más bajos que los tratamientos restantes.

Con la finalidad de comparar el comportamiento de la luminosidad de carne almacenada en diferentes atmósferas, se tomó como referencia lo reportado por Gómez y Lorenzo (2012) quienes notaron que al envasar a vacío y en condiciones de oxígeno carne de potro, los valores de  $L^*$  aumentaron durante los primeros 4-7 días de almacenamiento y disminuyeron hasta el día 14 que era el final del almacenamiento, debido posiblemente a que las muestras que se midieron en este estudio y en el presente trabajo, los valores de CRA son altos, es decir, tienen menor cantidad de agua libre en su superficie, reflejando menor brillantez y dando valores bajos de  $L^*$  (Alarcón y col., 2005).

Girolami y col. (2013) reportaron valores de  $L^*$  de diferentes músculos de carne de res utilizando el iluminante  $D_{65}$  y el método de la cámara oscura; *longissimus dorsi*  $L^* = 32.59 \pm 0.95$ , *semimembranosus*  $L^* = 35.51 \pm 0.86$  y *semitendinosus*  $L^* = 36.50 \pm 1.33$ .

Haciendo la comparación con el músculo *longissimus dorsi*, se observa que los tratamientos que tienen similitud son los de argón 1, argón 2, argón 3 y tradicional.



**Figura 22.** Luminosidad en carne en función a los factores concentración de gases y tiempo de almacenamiento (cámara oscura). (ARG1 = pretratamiento con 0.1 % de CO y envasado con 69.90 % de argón y 30 % CO<sub>2</sub>; ARG2 = pretratamiento con 0.5 % de CO y envasado con 69.50 % de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; ARG3 = pretratamiento con 1 % de CO y envasado con 69.00% de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; REF =almacenamiento refrigerado; TRAD = pretratamiento con 0.4 % de CO y envasado con 30 % de CO<sub>2</sub> y 69.60 % de N<sub>2</sub>; VAC = envasado a vacío).

### 3.2.1.4. Croma

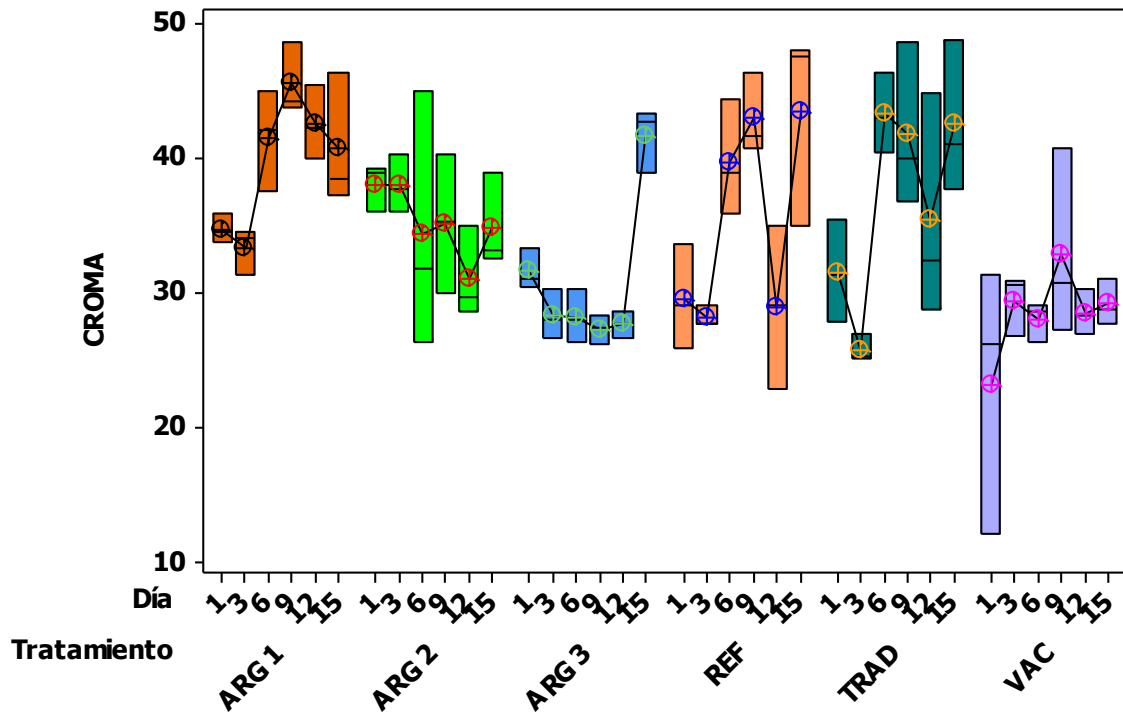
En la Figura 23 se observa que el croma que es el que refleja la pureza de color, los tratamientos con argón tienen una mayor homogeneidad en cuanto a este parámetro siendo argón 1 y argón 2 los más estables en el mantenimiento del color del producto durante el almacenamiento. Siendo importante resaltar que las muestras almacenadas a vacío tuvieron la menor cromaticidad. Mientras que es

posible establecer que no existió diferencia estadísticamente significativa entre el resto de los tratamientos con respecto a la media poblacional ( $\alpha = 0.05$ ) y que junto con los tratamientos de argón y nitrógeno son los que mantienen mejor la cromaticidad del producto durante el periodo de almacenamiento, es decir, que los tratamientos de argón y nitrógeno son los que tienen colores más fuertes; un color presenta menor croma cuanto más tiende hacia el gris o blanco y mayor cuanto más se acerca a una longitud de onda pura (Goenaga, 2010).

Valores de croma de diferentes músculos de carne de res fueron reportados por Girolami y col. (2013) empleando el iluminante  $D_{65}$  y el método de la cámara oscura; *longissimus dorsi* croma=  $33.88 \pm 1.33$ , *semimembranosus* croma=  $41.2 \pm 1.33$  y *semitendinosus* croma=  $39.21 \pm 1.09$ .

En este caso, al observar los datos anteriores y la Figura 22, es de notar que todos los tratamientos presentaron similitud con los tres músculos.

Para comparar el comportamiento de la cromaticidad de carne almacenada en diferentes atmósferas, se tomó como referencia lo reportado por Franco y col. (2008), en este estudio se midió el color en cinco músculos (*gluteo bíceps*, *longissimus dorsi*, *psaos mayor*, *semimembranosus* y *semitendinosus*) de novillos Holando, los valores de cromaticidad incrementaron los primeros 1-14 días de almacenamiento y disminuyeron hasta el día 21 que era el final de la experimentación. Los valores de croma no mostraron diferencias entre músculos en los días 0, 7 y 21. Sin embargo, en el día 14 de maduración, el músculo SM presentó los mayores registros, generándose el siguiente orden decreciente para los músculos estudiados: *semimembranosus* = *longissimus dorsi* > *semitendinosus*, *gluteo bíceps* y *psaos mayor*.



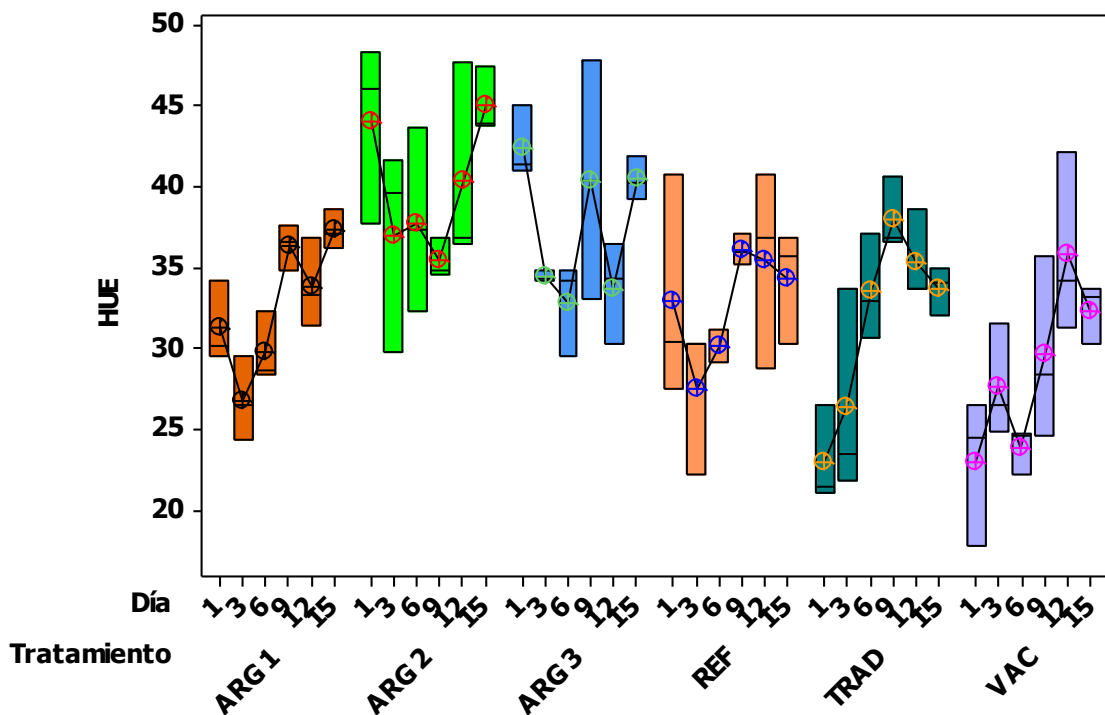
**Figura 23.** Cromaticidad en carne en función a los factores concentración de gases y tiempo de almacenamiento (cámara oscura). (ARG1 = pretratamiento con 0.1 % de CO y envasado con 69.90 % de argón y 30 % CO<sub>2</sub>; ARG2 = pretratamiento con 0.5 % de CO y envasado con 69.50 % de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; ARG3 = pretratamiento con 1 % de CO y envasado con 69.00% de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; REF =almacenamiento refrigerado; TRAD = pretratamiento con 0.4 % de CO y envasado con 30 % de CO<sub>2</sub> y 69.60 % de N<sub>2</sub>; VAC = envasado a vacío).

### 3.2.1.5. Ángulo Hue

Es un ángulo en un círculo de color de 360° donde el 0°, 90°, 180° y 270° representan los ángulos rojo-morado, amarillo, verde y azul respectivamente (AMSA, 2012; Rivera y col., 2005); Cuanto más grande es el ángulo Hue, el producto es menos rojo (Tapp y col., 2011). En la Figura 24 se observa que el ángulo Hue, representa el color, para el caso de color rojo va desde los 50° a 0° mostrando en este punto las diferentes tonalidades del mismo, siendo el rojo característico el que se encuentra próximo a los 45° en este sentido se observa que la intensidad de color rojo fue mayor para las muestras tratadas con argón, no

obstante, estas no mostraron diferencia significativa con respecto a las tratadas con nitrógeno y refrigeración, siendo más homogéneas y de color característico de carne fresca las tratadas con argón 2 y 3.

Luño y col. (2000) informaron que las concentraciones de CO de 0.5 hasta 0.75% de MAP fueron capaces de extender la duración del almacenamiento en filetes de carne (2 días *post-portem*) por 5-10 días a 1°C, en comparación con el tiempo de almacenamiento en un ambiente de 70% O<sub>2</sub> + 20% de CO<sub>2</sub>, como se demuestra por la formación retardada de metamioglobina, la estabilización del color rojo (CIE a\* y el ángulo Hue), el mantenimiento del olor de la carne fresca y la desaceleración de las reacciones oxidativas.



**Figura 24.** Ángulo Hue en carne en función a los factores concentración de gases y tiempo de almacenamiento (cámara oscura). (ARG1 = pretratamiento con 0.1 % de CO y envasado con 69.90 % de argón y 30 % CO<sub>2</sub>; ARG2 = pretratamiento con 0.5 % de CO y envasado con 69.50 % de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; ARG3 = pretratamiento con 1 % de CO y envasado con 69.00% de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; REF =almacenamiento refrigerado; TRAD = pretratamiento con 0.4 % de CO y envasado con 30 % de CO<sub>2</sub> y 69.60 % de N<sub>2</sub>; VAC = envasado a vacío).

Girolami y col. (2013) reportaron valores de ángulo Hue de diferentes músculos de carne de res utilizando el iluminante  $D_{65}$  y el método de la cámara oscura; longissimus dorsi ángulo Hue=  $34.51 \pm 0.88$ , semimembranosus ángulo Hue=  $36.42 \pm 0.88$  y semitendinosus ángulo Hue=  $39.21 \pm 1.09$ .

Los datos de la Figura 24 y los datos anteriores del músculo *longissimus dorsi* muestran que hubo similitud con respecto a todos los tratamientos.

### **3.2.2. Determinación del color mediante colorímetro**

Los resultados del colorímetro se muestran a partir del día 6 debido a que los dos primeros días el colorímetro no estuvo disponible.

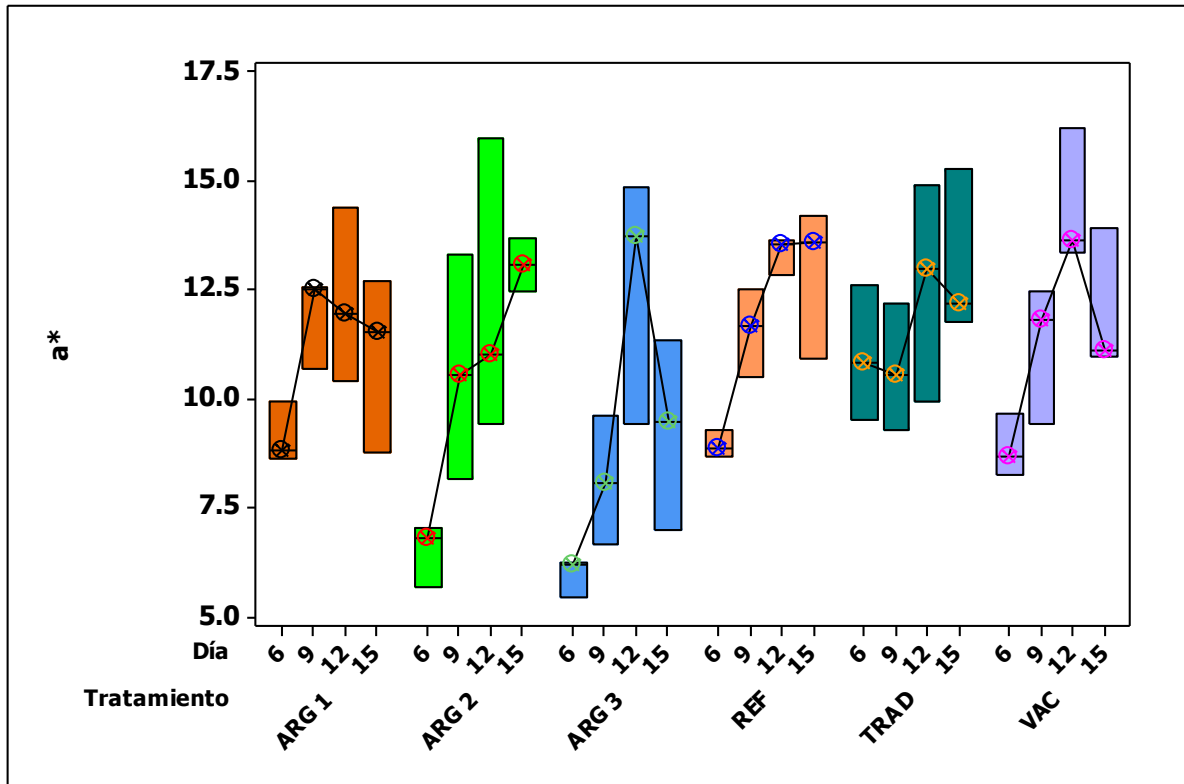
#### **3.2.2.1. Valores de $a^*$**

En la Figura 25 se observa que los valores de  $a^*$ = coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde), muestra que el tratamiento tradicional presentó mayor homogeneidad con respecto a los demás tratamientos; los valores más altos de  $a^*$  los presentaron los tratamientos de argón siendo argón 2 el de los valores mayores, seguido por argón 3 y por último argón 1. En el día 6 y 9 del tratamiento de argón 2 los valores de  $a^*$  fueron de 9.94 y 12.64 respectivamente, pero disminuyó el día 15 a 13.68; al apreciar las medias es notorio que en el tratamiento de argón 2 hubo un incremento desde el día 6 hasta el día 15.

Jayasingh y col. (2001) observaron que los filetes y carne molida en un 0.5% de CO en MAP mantienen un color rojo deseable durante 8 semanas de almacenamiento.

Valores positivos de  $a^*$  más altos representan que el color rojo es más intenso, en cambio, valores positivos de  $a^*$  cercanos a 0 dan como resultado colores prácticamente rojo-café.; esto influye en la frescura de la carne por ser un factor importante para los consumidores al momento de la compra; 'rojo vivo' es

asociado por los consumidores con carne fresca, mientras que el color marrón se considera un indicador de carne en mal estado (Di Wu y Da – Wen, 2013).



**Figura 25.** Valores de  $a^*$  en carne en función a los factores concentración de gases y tiempo de almacenamiento (colorímetro). (ARG1 = pretratamiento con 0.1 % de CO y envasado con 69.90 % de argón y 30 % CO<sub>2</sub>; ARG2 = pretratamiento con 0.5 % de CO y envasado con 69.50 % de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; ARG3 = pretratamiento con 1 % de CO y envasado con 69.00% de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; REF =almacenamiento refrigerado; TRAD = pretratamiento con 0.4 % de CO y envasado con 30 % de CO<sub>2</sub> y 69.60 % de N<sub>2</sub>; VAC = envasado a vacío).

Girolami y col. (2013) también reportaron valores de  $a^*$  de diferentes músculos de carne de res utilizando el iluminante D<sub>65</sub> y el colorímetro; longissimus dorsi  $a^* = 19.24 \pm 1.22$ , semimembranosus  $a^* = 23.47 \pm 1.20$  y semitendinosus  $a^* = 22.09 \pm 1.03$ .



Se observa al comparar los datos anteriores y la Figura 25 que estos últimos son más bajos que los presentados por Girolami y col. (2013); los valores más cercanos son los de argón 1.

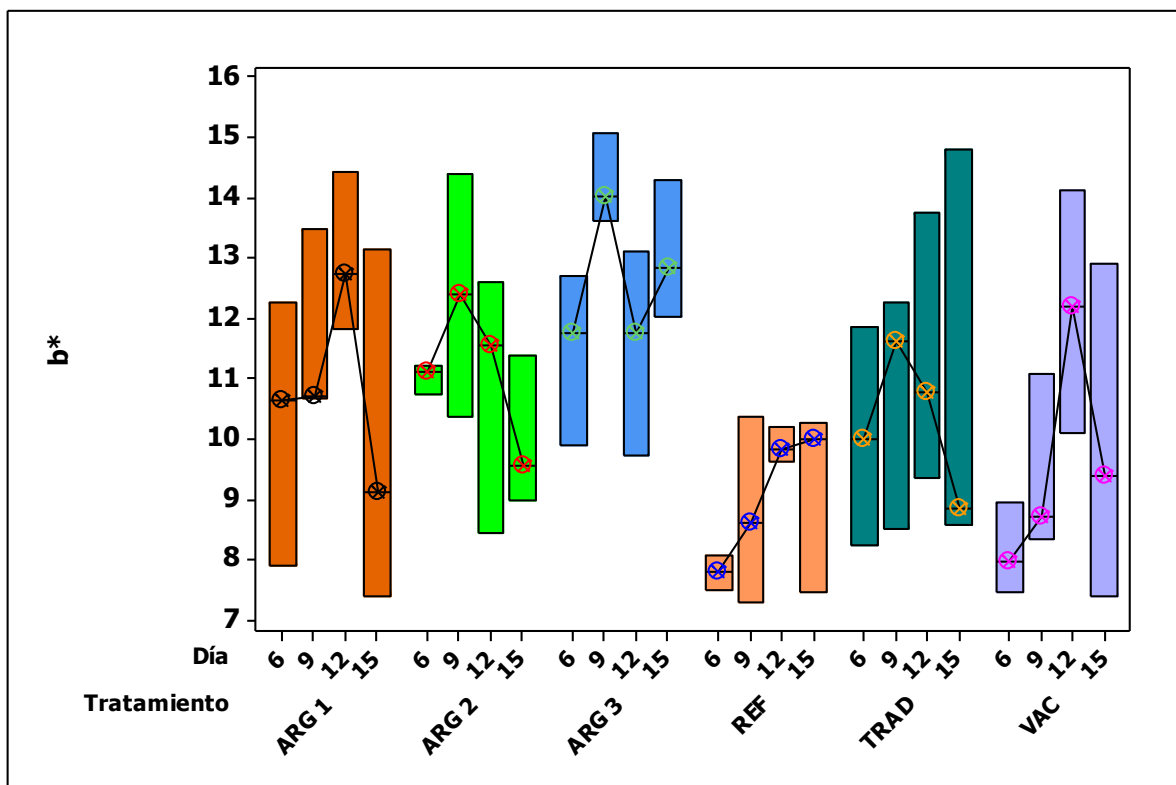
### 3.2.2.2. Valores de $b^*$

En la Figura 26 se aprecia que los valores de  $b^*$  = coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul), muestra que los tratamientos de argón 1, argón 2, tradicional y vacío incrementaron el valor de  $b^*$  y disminuyó el día 15 para argón 1, el día 12 para argón 2, tradicional y vacío. Para los tratamientos de argón 3 y tradicional, tuvieron tendencias diferentes ya que a diferencia de los demás tratamientos en argón 3 aunque aumentó y disminuyó el valor de  $b^*$ , de nuevo aumentó el valor; para el caso de refrigeración, en este aumentó pero no disminuyó en ningún momento, manteniéndose estable los dos últimos días. Al igual que las mediciones mediante la cámara oscura, los valores de  $b^*$  fueron positivos, es decir, que como se trató en el 1.4.3.2, tienden a amarillo.

Girolami y col. (2013) reportaron valores de  $b^*$  de diferentes músculos de carne de res utilizando el iluminante  $D_{65}$  y el colorímetro; longissimus dorsi  $b^* = 7.85 \pm 0.68$ , semimembranosus  $b^* = 10.07 \pm 0.76$  y semitendinosus  $b^* = 11.01 \pm 0.69$ .

Los tratamientos que presentaron similitud con los valores anteriores son argón 1, argón 2, refrigeración, tradicional y vacío; esto podría deberse a que la mioglobina en la superficie de la carne se oxigena (hasta la profundidad de aproximadamente 5 mm) a oximioglobina, que es de color rojo brillante; bajo esta primera capa, a causa de la baja tensión de oxígeno, se oxida a metamioglobina que es de color marrón, mientras que en la profundidad la mioglobina es la única presente. En consecuencia, la parte de la luz reflejada y refractada desde la superficie de la carne aparece de color rojo brillante, mientras que la parte de la luz que entra en la estructura hasta las capas metamioglobina y mioglobina aparecerá rojo marrón y púrpura, respectivamente. Los valores de los índices de  $a^*$  y  $b^*$  reportados por

Girolami y col. (2013) y los valores obtenidos en el trabajo presente podría ser debido a la luz reflejada y refractada desde las capas de metamioglobina y mioglobina.

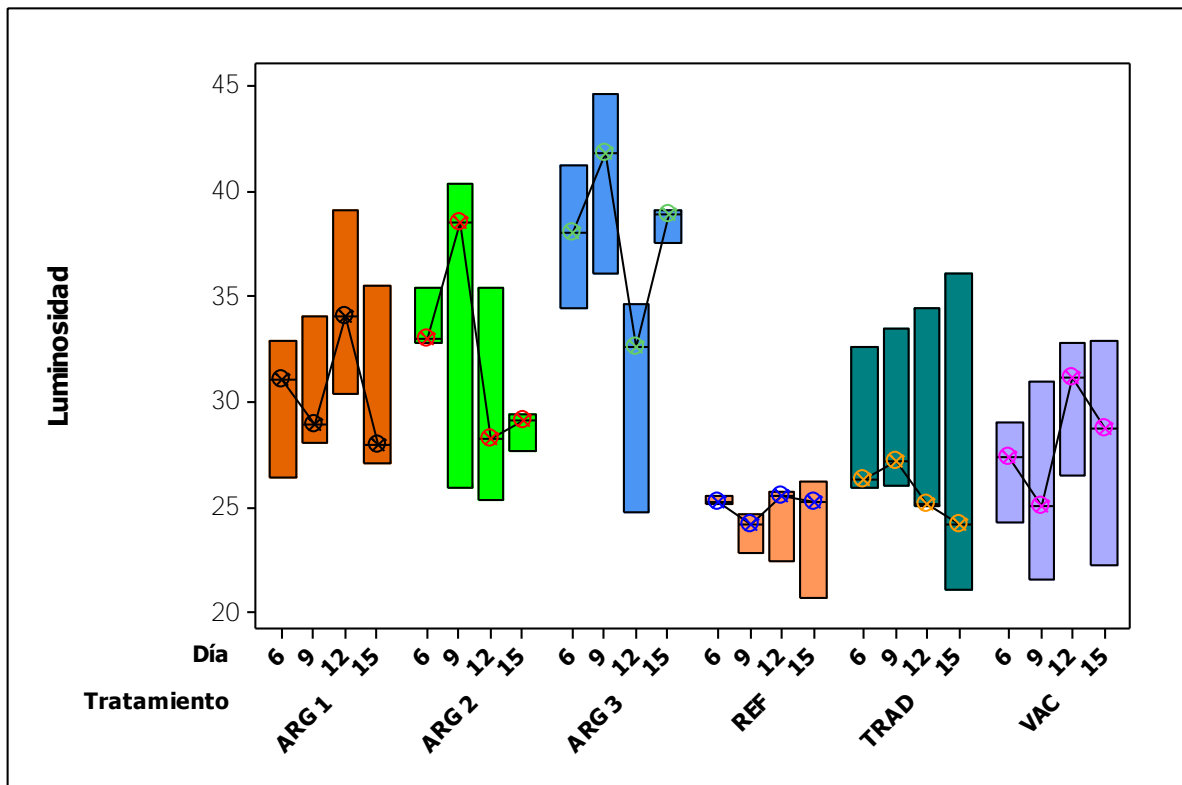


**Figura 26.** Valores de  $b^*$  en carne en función a los factores concentración de gases y tiempo de almacenamiento (colorímetro). (ARG1 = pretratamiento con 0.1 % de CO y envasado con 69.90 % de argón y 30 % CO<sub>2</sub>; ARG2 = pretratamiento con 0.5 % de CO y envasado con 69.50 % de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; ARG3 = pretratamiento con 1 % de CO y envasado con 69.00% de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; REF =almacenamiento refrigerado; TRAD = pretratamiento con 0.4 % de CO y envasado con 30 % de CO<sub>2</sub> y 69.60 % de N<sub>2</sub>; VAC = envasado a vacío).

### 3.2.2.3. Luminosidad

En la Figura 27 se muestra el gráfico de cajas correspondiente al comportamiento de la luminosidad durante el tiempo de almacenamiento, este muestra que tanto el tiempo como el tipo de gas o atmósfera modificada generada tienen un efecto significativo en el comportamiento de este factor con un  $\alpha \leq 0.05$ . Destacando que

los mejores tratamientos fueron argón 1 y argón 2 con una luminosidad >30, además que con el tratamiento con argón (1 ó 2) contribuye a mantener prácticamente constante la luminosidad durante el periodo de almacenamiento. Otra observación es que en las dos mediciones (cámara oscura y colorímetro) el tratamiento tradicional con nitrógeno incrementa inicialmente la luminosidad de la carne pero después esta tiende a disminuir conforme transcurre el almacenamiento por debajo de 28, aunque en este caso los tratamientos refrigerados y a vacío mostraron menor luminosidad que los tratamientos con gases, mostrando la menor, las muestras almacenadas con el tratamiento de refrigeración.



**Figura 27.** Luminosidad en carne en función a los factores concentración de gases y tiempo de almacenamiento (colorímetro). (ARG1 = pretratamiento con 0.1 % de CO y envasado con 69.90 % de argón y 30 % CO<sub>2</sub>; ARG2 = pretratamiento con 0.5 % de CO y envasado con 69.50 % de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; ARG3 = pretratamiento con 1 % de CO y envasado con 69.00% de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; REF =almacenamiento refrigerado; TRAD = pretratamiento con 0.4 % de CO y envasado con 30 % de CO<sub>2</sub> y 69.60 % de N<sub>2</sub>; VAC = envasado a vacío).

Girolami y col. (2013) reportaron valores de  $L^*$  de tres músculos de carne de res empleando el iluminante  $D_{65}$  y el colorímetro; *longissimus dorsi*  $L^* = 36.70 \pm 0.95$ , *semimembranosus*  $L^* = 39.03 \pm 0.86$  y *semitendinosus*  $L^* = 40.91 \pm 1.33$ .

En otro estudio realizado por Pasachoa (2010), en el que se midió el color en el corte bovino *longissimus dorsi* (solomo) procedente de bovinos Cebú con edad entre 24 y 36 meses y de 48 meses, con un tiempo de maduración al vacío de 0, 5 y 10 días (VP 0d MAP, VP 5d MAP, VP 10d MAP), que luego fueron empacados en MAP (30%  $CO_2$ , 0.5% CO y 69.5% de  $N_2$ ) y almacenados durante 21 días en condiciones de refrigeración ( $2^\circ C \pm 2^\circ C$ ), utilizando un Iluminante  $D_{65}$  y el colorímetro con un ángulo de  $10^\circ$ ; los valores de  $L^*$  se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Valores promedio de la coordenada  $L^*$  en el corte *longissimus dorsi* (solomo) de carne de bovino Cebú.

Promedio coordenada $L^*$							
EDAD	Tratamiento	DÍA					
		1	4	9	13	18	21
48 meses	VP 0d MAP	35.040	39.719	41.978	43.000	40.723	40.991
	VP 5d MAP	38.097	39.549	40.788	42.234	40.674	44.094
	VP 10d MAP	38.331	40.225	40.974	40.666	42.345	41.466
24 – 36 meses	VP 0d MAP	39.571	40.423	42.005	42.335	40.583	41.545
	VP 5d MAP	37.394	40.972	40.914	41.643	41.055	42.446
	VP 10d MAP	37.823	40.293	41.890	42.457	38.884	42.196

(Fuente: Pasachoa, 2010).

Los tratamientos de argón (1, 2 y 3) y tradicional son los que están dentro de los valores de los dos estudios mencionados anteriormente; al igual que estos tratamientos, refrigeración y vacío, muestran valores similares pero con la diferencia de que además se obtuvieron algunos valores por debajo de estos en los días 6 y 9 para refrigeración y en casi todos los días (excepto el 12) en el envasado a vacío.

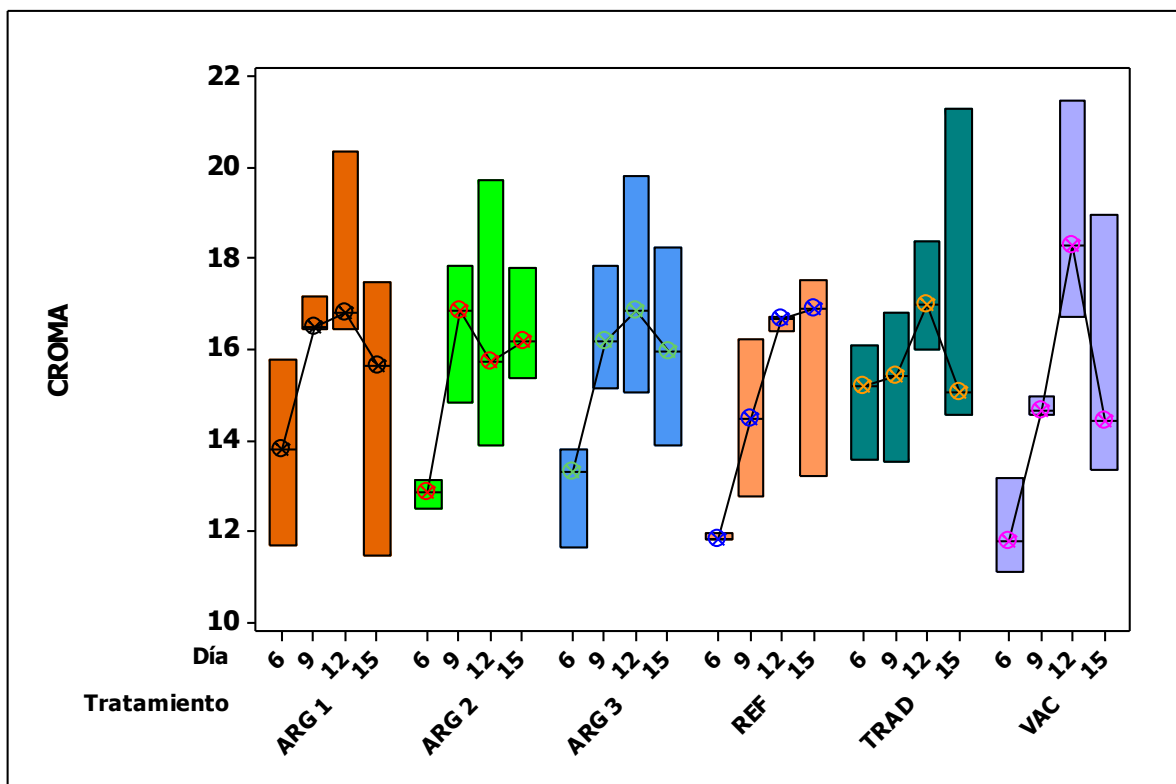
#### 3.2.2.4. Croma

En la Figura 28 se aprecia que el croma muestra que los tratamientos con argón 2, argón 3 y tradicional tienen una mayor homogeneidad en cuanto a este parámetro. Al igual que en la medición por medio de la cámara oscura se aprecia que las muestras almacenadas a vacío fueron las que tuvieron valores menores de cromaticidad. Los tratamientos de argón 2, argón 3 y tradicional (nitrógeno), son los que mantienen mejor la cromaticidad de la carne durante el periodo de almacenamiento, indicando que con estos tratamientos en donde se empleó el CO se obtuvo una mayor saturación de la muestra, es decir, una mayor intensidad en el color de la carne (AMSA, 2012). Los tratamientos con menor homogeneidad de los valores de croma fueron el de refrigeración y vacío.

En el estudio que realizaron Girolami y col. (2013) con tres músculos de carne de res, reportaron valores de croma utilizando el iluminante  $D_{65}$  y el colorímetro; *longissimus dorsi* croma=  $20.82 \pm 1.33$ , *semimembranosus* croma=  $25.59 \pm 1.33$  y *semitendinosus* croma=  $24.74 \pm 1.09$ .

Comparando los resultados de croma de este trabajo con respecto a los valores anteriores, se visualiza que la mayoría de los tratamientos (menos refrigeración) son similares a los del músculo *longissimus dorsi*, ya que los músculos *semimembranosus* y *semitendinosus* presentaron valores de cromaticidad más altos. Es importante destacar que existen diferencias que se tienen que tomar en cuenta, lo que ocasiona cambios en los resultados como (Coria, 2014):

- El tipo de animales utilizados
- El sacrificio y sus condiciones
- El almacenamiento de la carne y su temperatura, entre muchos otros.



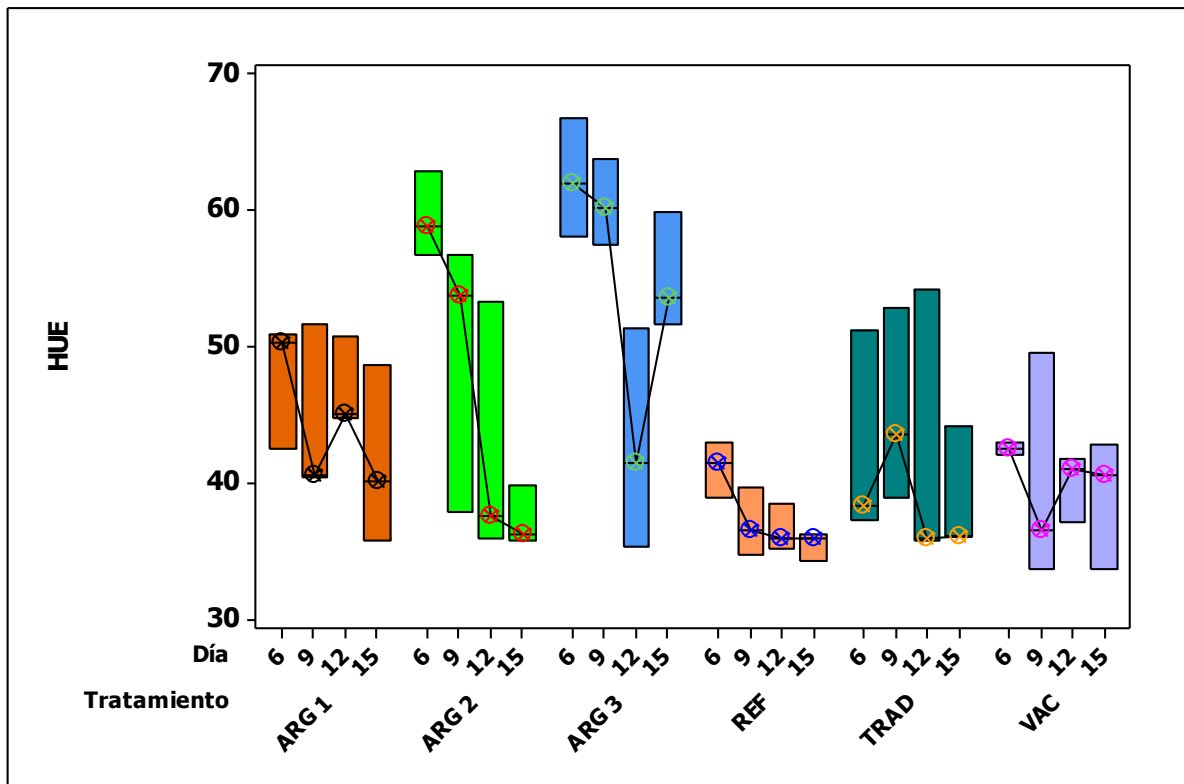
**Figura 28.** Cromaticidad en carne en función a los factores concentración de gases y tiempo de almacenamiento (colorímetro). (ARG1 = pretratamiento con 0.1 % de CO y envasado con 69.90 % de argón y 30 % CO<sub>2</sub>; ARG2 = pretratamiento con 0.5 % de CO y envasado con 69.50 % de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; ARG3 = pretratamiento con 1 % de CO y envasado con 69.00% de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; REF =almacenamiento refrigerado; TRAD = pretratamiento con 0.4 % de CO y envasado con 30 % de CO<sub>2</sub> y 69.60 % de N<sub>2</sub>; VAC = envasado a vacío).

### 3.2.2.5. Ángulo Hue

En la Figura 29 se observa que el ángulo Hue que representa el tono para clasificar rojo, azul, amarillo, etc., mostrando que la intensidad de color rojo fue mayor para las muestras tratadas con argón 2 y argón 3 (al igual que en la medición de la cámara oscura a excepción de argón 1), no obstante en estas mediciones si se mostró diferencia significativa entre las muestras de argón y las

del tratamiento tradicional (nitrógeno). Otra diferencia es que las de mayor homogeneidad entre los tratamientos de argón fue la de argón 1.

Los valores reportados por Girolami y col. (2013) del ángulo Hue de diferentes músculos de carne de res utilizando el iluminante D<sub>65</sub> y el colorímetro fueron los siguientes: *longissimus dorsi* ángulo Hue= 22.27±0.88, *semimembranosus* ángulo Hue= 23.56±0.88 y *semitendinosus* ángulo Hue= 26.88±1.04.



**Figura 29.** Ángulo Hue en carne en función a los factores concentración de gases y tiempo de almacenamiento (colorímetro). (ARG1 = pretratamiento con 0.1 % de CO y envasado con 69.90 % de argón y 30 % CO<sub>2</sub>; ARG2 = pretratamiento con 0.5 % de CO y envasado con 69.50 % de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; ARG3 = pretratamiento con 1 % de CO y envasado con 69.00% de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; REF =almacenamiento refrigerado; TRAD = pretratamiento con 0.4 % de CO y envasado con 30 % de CO<sub>2</sub> y 69.60 % de N<sub>2</sub>; VAC = envasado a vacío).

Con respecto al ángulo Hue los valores de este trabajo son menores a los de los tres músculos estudiados por Girolami y col (2013).

### 3.3. Medición de pH

De acuerdo con Wirth (1987), citado por Mamani y Gallo (2011) el pH es un parámetro importante relacionado con la susceptibilidad de la carne a su deterioro.

El valor obtenido de la caracterización de la materia prima de pH fue de 5.4. En un experimento realizado por Seyfert y col. (2007) se registraron valores para cinco músculos de carne de res fresca parecidos a los de este trabajo; *psaos mayor*= 5.6, *longissimus lumbar*= 5.5, *semimembranoso superficial*= 5.5, *semimembranoso bajo*= 5.5 y *semitendinoso*= 5.5.

En la Figura 30 se observa que el pH muestra que Argón 3 es el más estable en el mantenimiento de pH durante el almacenamiento. Los tratamientos con argón 1, argón 2, tradicional y vacío no son homogéneos, pero la diferencia radica en que los valores de argón 1 y 2 presentan una menor variación que los tratamientos tradicional y vacío; una mayor variación de pH no es apto para la calidad de la carne debido a que es un indicativo de inestabilidad química y deterioro del producto.

Hunt y col. (2004) realizaron un estudio utilizando CO al 0.4% y el pH promedio obtenido fue de 5.5, sin embargo en otro estudio realizado por Aspé y col., (2008) demostraron que la composición de los gases de envasado no tiene efecto significativo sobre el exudado, el pH y la humedad en la carne de vacuno envasada en MAP.

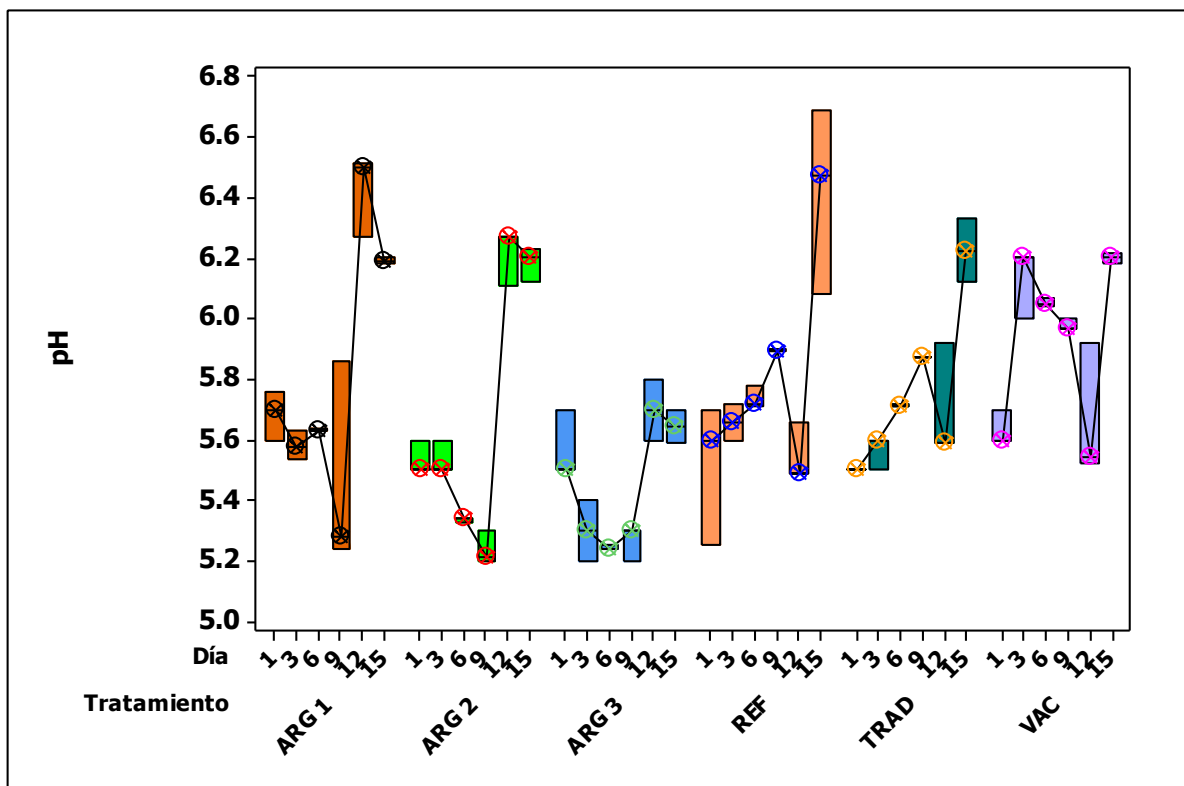
En lo que respecta a algunos factores *ante-mortem* se han encontrado diferencias en el pH final de diferentes músculos debido a su distinto tipo metabólico (Sañudo, 1980; López, 1987). En el vacuno se ha observado que los músculos de la espalda y de los miembros posteriores, y en particular el músculo *longissimus thoracis et lumborum*, son los que alcanzan con más frecuencia valores de pH anormalmente elevados; la actividad muscular afecta el valor de pH, ya que



cuanto menor sea ésta, la caída del pH será más rápida (Tarrant y Sherington, 1980).

El pH de la carne, que en el momento de la faena se encuentra en 7.2 y desciende en las horas posteriores, a valores por debajo de 5.8, influye fundamentalmente sobre la capacidad de fijación de agua de la actomiosina (Restrepo y col., 2001).

Como se mencionó en el Capítulo 1 la vida de anaquel de la carne fresca está influida por el pH del producto, el cual puede variar de 5.5 a 6.5 (Guevara, 2010).



**Figura 30.** Comportamiento del pH en carne en función a los factores concentración de gases y tiempo de almacenamiento. (ARG1 = pretratamiento con 0.1 % de CO y envasado con 69.90 % de argón y 30 % CO<sub>2</sub>; ARG2 = pretratamiento con 0.5 % de CO y envasado con 69.50 % de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; ARG3 = pretratamiento con 1 % de CO y envasado con 69.00% de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; REF =almacenamiento refrigerado; TRAD = pretratamiento con 0.4 % de CO y envasado con 30 % de CO<sub>2</sub> y 69.60 % de N<sub>2</sub>; VAC = envasado a vacío).

### 3.4. Capacidad de retención de agua

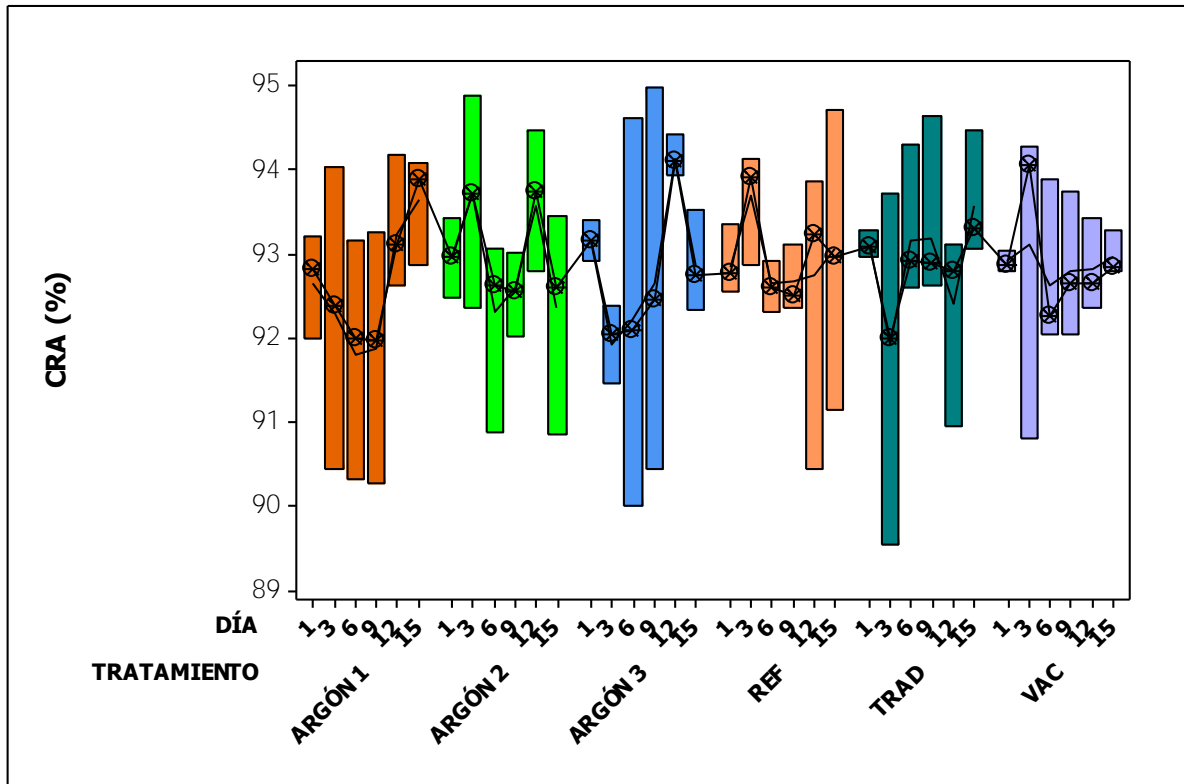
Diversos autores (Wierbicki y col., 1957; Wierbicki y Deatherage, 1958) mencionados por Lawrie (1998) mencionan que la CRA es un parámetro fisicoquímico importante por su contribución a la calidad de la carne y la de sus productos derivados.

La CRA de la carne está relacionada con la textura, ternura y color de la carne cruda y jugosidad y firmeza de la carne cocinada. Dicha retención de agua se produce a nivel de las cadenas de acto-miosina (UCO, 2008). La carne retiene, en mayor o menor cantidad, una porción de agua, y cuando se mastica, provoca la sensación de jugosidad o la expulsa en forma de exudado. La exudación depende de la cantidad de líquido que libera la estructura proteica muscular y de la facilidad que tenga este líquido para salir de esa estructura (Carbajal y col., 2008).

En la Figura 31 se puede apreciar que la CRA muestra que los tratamientos con valores más altos son los de argón 2 (día 3) y argón 3 (día 9), siendo este último el de mayor CRA, aunque cabe mencionar que presentan una distribución de datos de menor homogeneidad a comparación con los tratamientos de argón 1, tradicional y vacío. Para los tratamientos de argón 1 y vacío, en el día 12 y 15 incrementó la CRA. Restrepo y col. (2001) mencionan que el músculo, inmediatamente después del sacrificio, posee una elevada CRA, la cual disminuye progresivamente hasta alcanzar un mínimo, cuando se establece la rigidez cadavérica. Posteriormente, durante el almacenamiento de la carne, se produce el fenómeno denominado maduración, en el que la CRA experimenta un moderado incremento.

Además de la CRA, se obtuvo una gráfica del agua drenada o exudada. En la Figura 32 se observa que en los tratamientos argón 2, argón 3, refrigeración y tradicional el porcentaje de agua drenada disminuyó en el día 15, pero en el caso de argón 1 y vacío no disminuyó. En el tratamiento de argón 3 aunque la

distribución de datos es mayor con respecto a los otros tratamientos es importante recalcar que en el último día de almacenamiento, el porcentaje de agua drenada disminuyó.

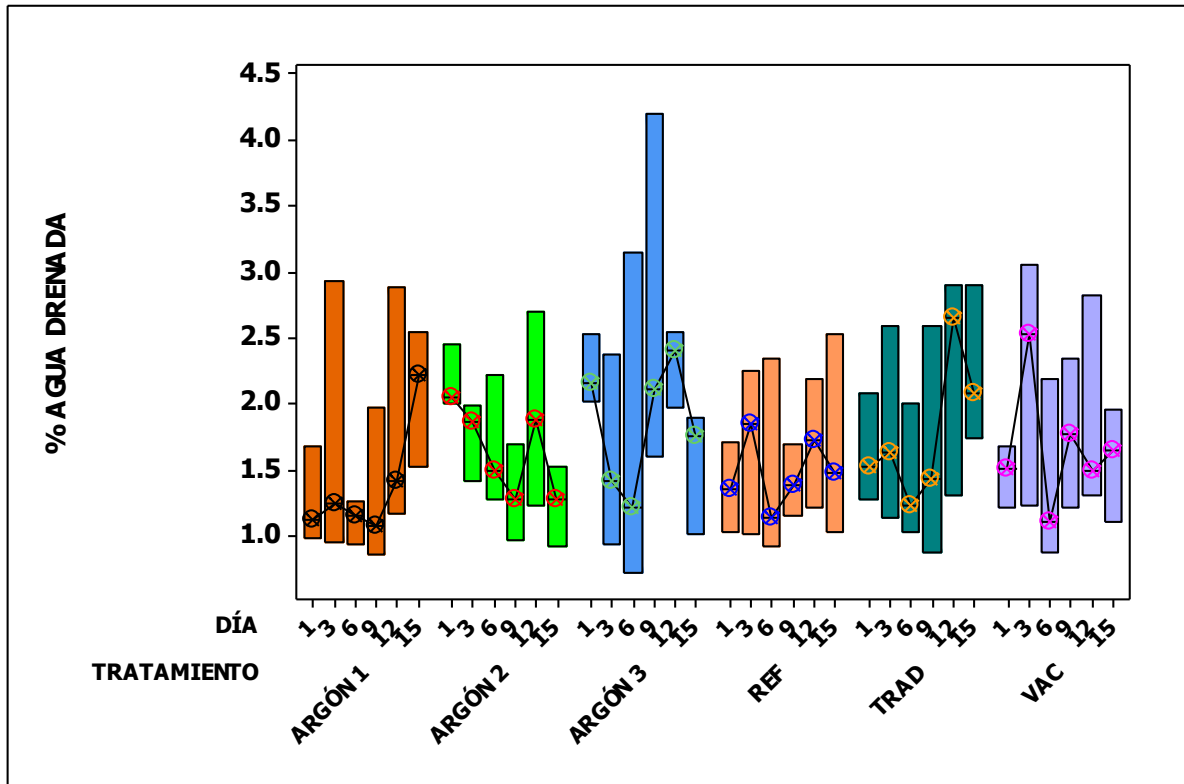


**Figura 31.** Porcentaje de CRA en carne en función a los factores concentración de gases y tiempo de almacenamiento. (ARG1 = pretratamiento con 0.1 % de CO y envasado con 69.90 % de argón y 30 % CO<sub>2</sub>; ARG2 = pretratamiento con 0.5 % de CO y envasado con 69.50 % de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; ARG3 = pretratamiento con 1 % de CO y envasado con 69.00% de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; REF =almacenamiento refrigerado; TRAD = pretratamiento con 0.4 % de CO y envasado con 30 % de CO<sub>2</sub> y 69.60 % de N<sub>2</sub>; VAC = envasado a vacío).

### 3.5. Medición de la textura (prueba de punción y porcentaje de deformación según dureza)

Dentro de los atributos de la textura, el más destacado es la dureza. En este sentido, numerosos estudios sensoriales y de laboratorio muestran que la dureza es el atributo más importante en la carne de vacuno. Este parámetro es menos

variable en la carne de cerdo, cordero y ternera, que en la de vacuno mayor (Marsh, 1977; Kinsman y col., 1994).



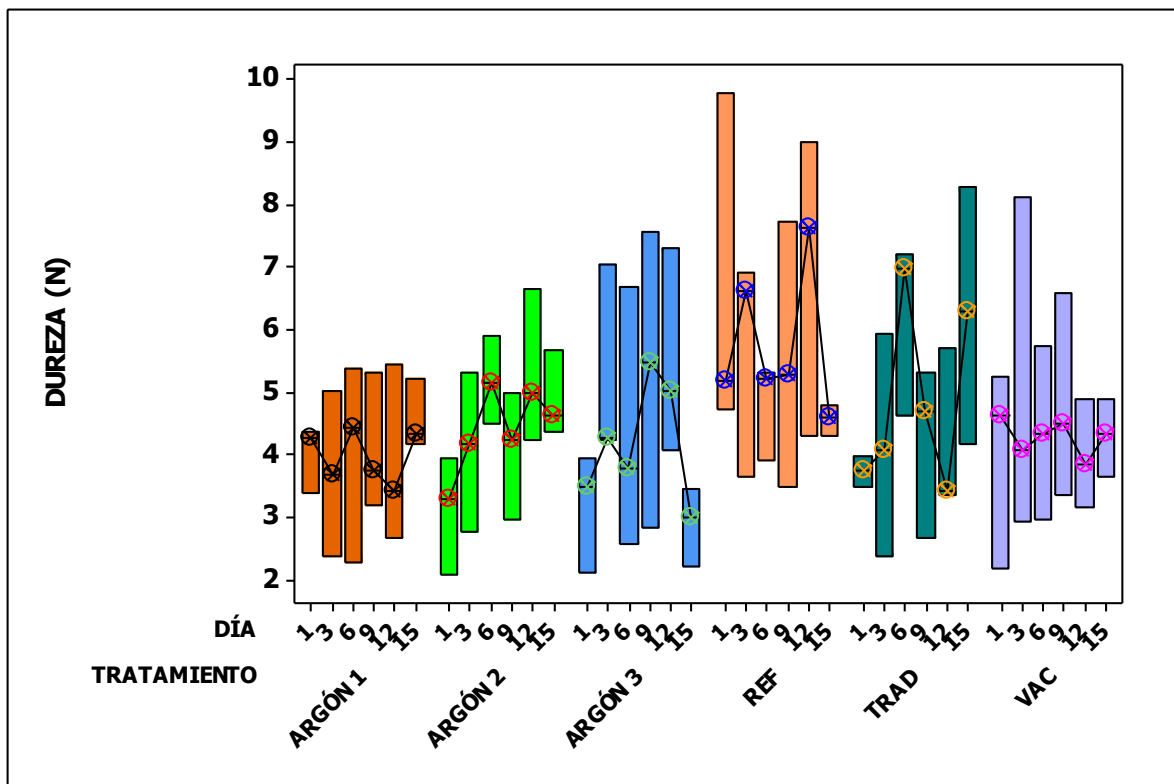
**Figura 32.** Porcentaje de agua drenada en carne en función a los factores concentración de gases y tiempo de almacenamiento. (ARG1 = pretratamiento con 0.1 % de CO y envasado con 69.90 % de argón y 30 % CO<sub>2</sub>; ARG2 = pretratamiento con 0.5 % de CO y envasado con 69.50 % de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; ARG3 = pretratamiento con 1 % de CO y envasado con 69.00% de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; REF =almacenamiento refrigerado; TRAD = pretratamiento con 0.4 % de CO y envasado con 30 % de CO<sub>2</sub> y 69.60 % de N<sub>2</sub>; VAC = envasado a vacío).

Para determinar la dureza de la carne de res fresca se optó por realizar una prueba de punción. El método para la determinación de la dureza normalmente se mide como la resistencia al corte o a la punción (Sebranek, 2011).

a) Prueba de Punción

En la Figura 33 se aprecia que la dureza muestra que los tratamientos con mayor

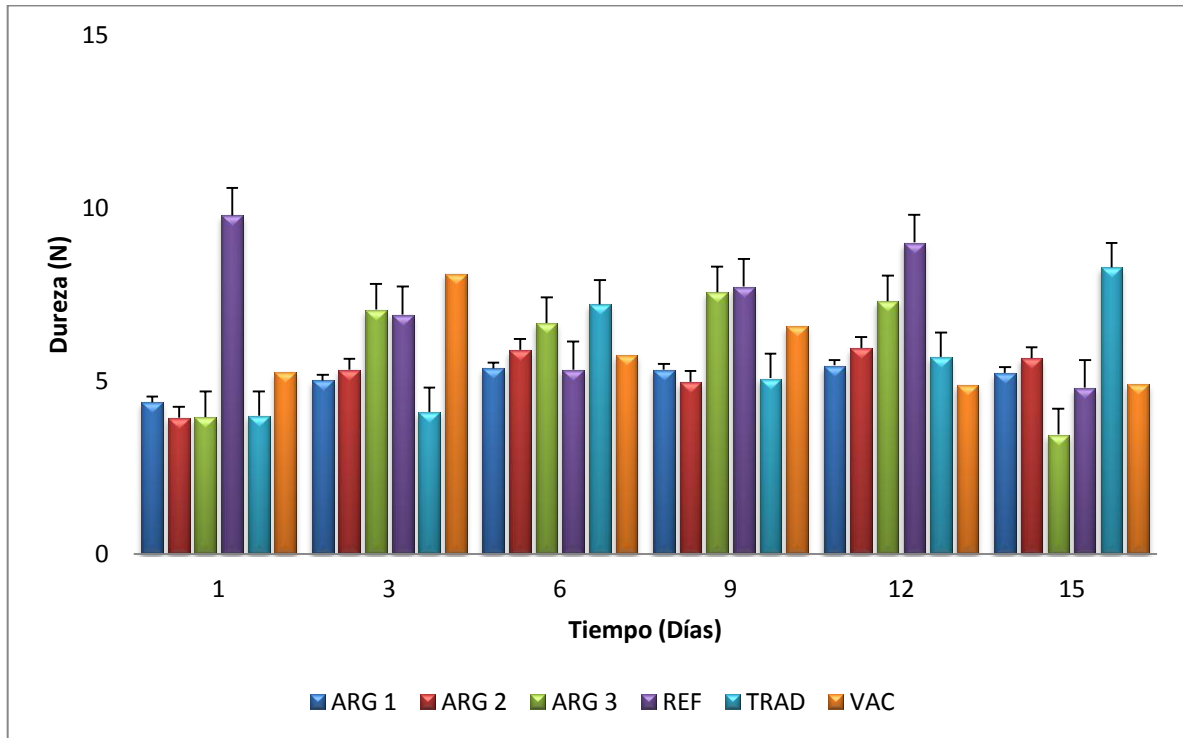
homogeneidad en los datos fueron argón 1, argón 2 y argón 3, seguidos por el tratamiento de vacío. En argón 1, tradicional y vacío se observa que hubo un incremento en el día 15. Para los tratamientos argón 2, argón 3 y refrigeración, la dureza disminuyó en el último día de almacenamiento de la carne. En lo que respecta a las muestras en refrigeración, los datos tuvieron una menor homogeneidad, presentando el valor más alto de dureza (9.78N).



**Figura 33.** Dureza en carne en función a los factores concentración de gases y tiempo de almacenamiento. (ARG1 = pretratamiento con 0.1 % de CO y envasado con 69.90 % de argón y 30 % CO<sub>2</sub>; ARG2 = pretratamiento con 0.5 % de CO y envasado con 69.50 % de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; ARG3 = pretratamiento con 1 % de CO y envasado con 69.00% de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; REF =almacenamiento refrigerado; TRAD = pretratamiento con 0.4 % de CO y envasado con 30 % de CO<sub>2</sub> y 69.60 % de N<sub>2</sub>; VAC = envasado a vacío).

En la Figura 34 se muestra que para la carne en refrigeración fue disminuyendo la dureza a lo largo del almacenamiento. En el caso de los tratamientos con argón (1, 2 y 3) la dureza aumentó desde el día 1 hasta el día 6, disminuyendo el día 9 para luego incrementarse en el día 12 y finalmente disminuir en el día 15. El tratamiento

tradicional siguió una tendencia parecida pero con la diferencia de que en el día 12 y 15 aumentó la dureza. A diferencia del envasado a vacío que aumentó la dureza en el día 3, la disminuyó en el día 6, aumentando en el día 9 y descendiendo para el día 12 y 15 del almacenamiento.



**Figura 34.** Cambios de dureza durante el almacenamiento. (ARG1 = pretratamiento con 0.1 % de CO y envasado con 69.90 % de argón y 30 % CO<sub>2</sub>; ARG2 = pretratamiento con 0.5 % de CO y envasado con 69.50 % de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; ARG3 = pretratamiento con 1 % de CO y envasado con 69.00% de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; REF =almacenamiento refrigerado; TRAD = pretratamiento con 0.4 % de CO y envasado con 30 % de CO<sub>2</sub> y 69.60 % de N<sub>2</sub>; VAC = envasado a vacío).

La variabilidad de los datos se debe a muchos factores y no solo del tratamiento utilizado; para Hill (1966), la solubilidad del colágeno es el factor fundamental en la dureza de la carne; mientras que en otro trabajo, Young y Braggins (1993), señalan que la concentración de colágeno es determinante en la valoración de la dureza de la carne ovina por un panel sensorial, mientras que la solubilidad está más relacionada con la fuerza de corte. También influyen en este parámetro el

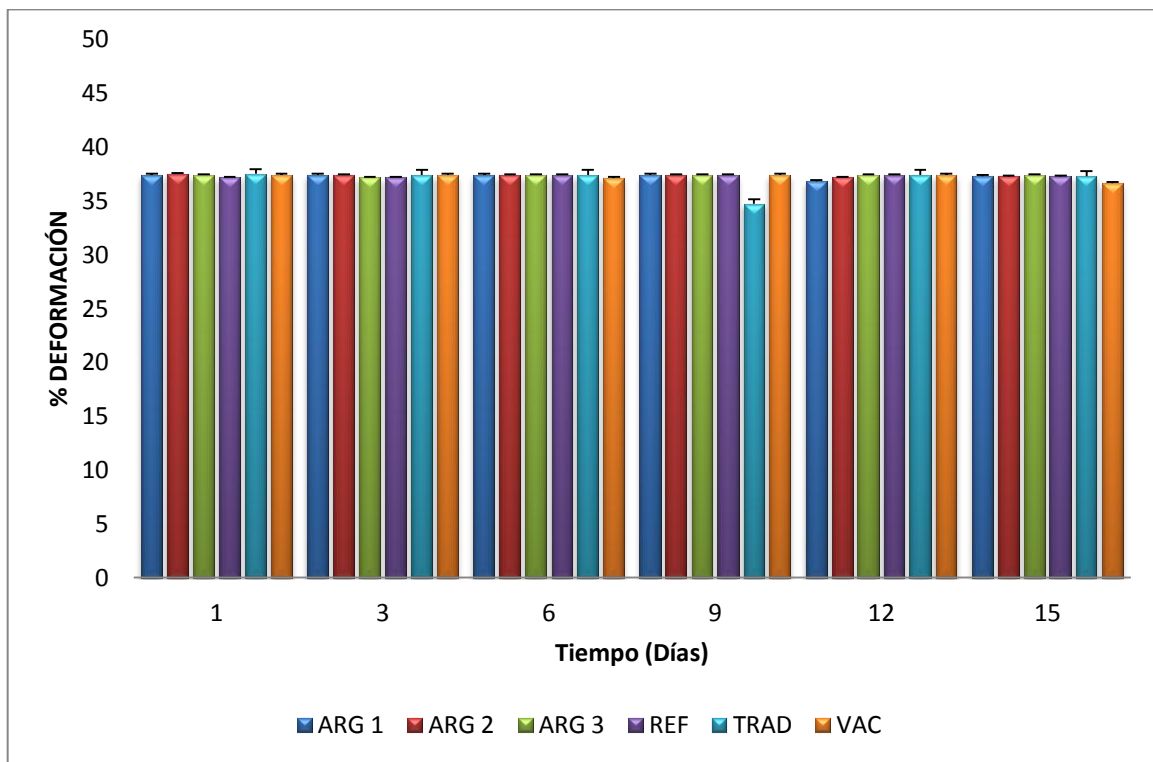
número y el tamaño de los paquetes de fibras contenidas en el músculo. En animales grandes, como el ganado vacuno, estos paquetes son mayores que en animales más pequeños como el cordero o el cerdo (López de la Torre y Carballo, 1991).

El pH también influye sobre la dureza; así algunos estudios han mostrado que la dureza probablemente alcanza su valor más bajo si la glicolisis *post-mortem* se verifica a una velocidad intermedia (correspondiente a un pH alrededor de 5,9 a las 3 horas *post-mortem*) y es mayor con una velocidad más lenta o más rápida (Smulders y col., 1990).

Dentro del mismo músculo la dureza también varía, por ejemplo, en el lomo, aumentando desde el centro hacia los extremos, debido sobre todo a la cantidad de tejido conectivo que contienen. Los animales jóvenes contienen más colágeno total que los animales más viejos (Kinsman y col., 1994). Locker (1959) citado por Pearson y Dutson (1985) observó que los músculos de una canal de vacuno entraban en rigor mortis en diferentes estados de contracción; después demostró que los músculos relajados eran menos duros que los que se habían acortado o contraído. Onega (2003) menciona la investigación de algunos autores, existen estudios que han mostrado el endurecimiento que causa el “acortamiento por el frío” en vacuno (Marsh y Leet, 1966) y en cordero (Mcrae y col., 1979). Dransfield y col. (1979) citados por Cañeque y Sañudo (2000), afirman que el grado de enfriamiento de la canal es un factor mucho más determinante que la raza. El factor sexo tampoco parece tener un efecto especialmente importante. En animales jóvenes, Sañudo y col. (1986) no encontraron diferencias significativas entre machos y hembras, como tampoco lo hicieron Kemp y col. (1981); Sierra (1986) y López (1987). Dransfield y col. (1990) tampoco encontraron diferencias en la dureza de machos enteros y castrados, al contrario que Alvi (1980) que detectó que los animales enteros eran algo más duros que los castrados. Otros autores afirman que los machos tienen mayor dureza debido a un mayor contenido en colágeno y una menor cantidad de grasa de infiltración que las hembras

(Dreyer y col., 1977), y a que la testosterona incrementa los niveles de colágeno (Hedrick y col., 1983) citados por Onega (2003).

En un experimento realizado por Luckett y col. (2014) con carne de pollo tienen por datos de dureza de  $39.1 \pm 6.6$  N, esto quiere decir que los resultados obtenidos están por debajo de estos, aunque hay que recalcar que esto depende de muchos factores como los mencionados anteriormente.



**Figura 35.** Deformación según dureza (%) de las muestras de carne de res. (ARG1 = pretratamiento con 0.1 % de CO y envasado con 69.90 % de argón y 30 % CO<sub>2</sub>; ARG2 = pretratamiento con 0.5 % de CO y envasado con 69.50 % de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; ARG3 = pretratamiento con 1 % de CO y envasado con 69.00% de argón y 30 % de CO<sub>2</sub>; REF =almacenamiento refrigerado; TRAD = pretratamiento con 0.4 % de CO y envasado con 30 % de CO<sub>2</sub> y 69.60 % de N<sub>2</sub>; VAC = envasado a vacío).

En otro estudio realizado por Sarriés y Beriain (2006) a potros, hembras y machos de 16 y 24 meses donde se midió la dureza los días 4 y 8 se obtuvieron los



siguientes resultados: En los potros de 16 meses (hembras día 4= 4.81N, hembras día 8= 3.65N, machos día 4= 4.97N, machos día 8= 3.53 N) y para potros de 24 meses (hembras día 4= 4.98 N, hembras día 8= 4.53 N, machos día 4= 4.57 N, machos día 8= 4.31 N).

b) Deformación según dureza (%)

Este parámetro, indica el grado de deformación restante del material biológico tras la eliminación de la carga causante de la deformación.

En la Figura 35 se muestra que no hubo mucha variabilidad de los datos con respecto a los tratamientos y días, presentando un porcentaje de deformación de 37.4%. Una de las pocas variabilidades es en el tratamiento tradicional (nitrógeno) en el día 9 donde disminuyo este porcentaje de 37.4% a 34.7%.

## CONCLUSIONES

- En este estudio fue posible comprobar la efectividad del uso de un envasado en atmósfera modificada con CO y Ar para la conservación de la carne.
- En lo que respecta al objetivo particular 1, se demostró que el análisis de imagen es una herramienta fiable para la obtención objetiva y cuantitativa de los parámetros de color sobre la calidad y vida útil de la carne; que las mediciones entre el método del colorímetro y de la cámara oscura cambian debido a múltiples factores que influyen en esta; en cuanto a la medición de color, los mejores resultados fueron con la medición de la cámara oscura y con los tratamientos de argón. Las muestras de carne envasadas en atmósfera modificada presentaron un menor deterioro y aumento de vida útil que las del tratamiento de refrigeración (testigo).
- Existió diferencia significativa en los días de almacenamiento y los tratamientos utilizados (excepto en los tratamientos de argón 1 y argón 2); los tratamientos con argón (1, 2 ó 3) contribuyeron a mantener constante la luminosidad y la cromaticidad en el periodo de almacenamiento; para el ángulo Hue, los mejores fueron argón 2 y argón 3; los tratamientos con argón presentaron una menor variación en el pH.
- En el objetivo particular 2, los tratamientos con argón (1, 2 y 3) y el envasado a vacío mostraron mejores resultados en cuanto a la dureza y a la CRA, demostrando que si existió una influencia de las diferentes concentraciones de las mezclas de los gases en estos parámetros.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, R. A., Duarte, A. J., Rodríguez, A. F. & Janacua, V. H. (2005). Incidencia de carne pálida-suave-exudativa (PSE) y oscura-firme-seca (DFD) en cerdos sacrificados en la región del Bajío en México. *Técnica Pecuaria en México*. 43: 335-346.
- Alvarado, J. D. (2001). *Métodos para medir propiedades físicas en industria de alimentos*. España: Acribia.
- Álvarez, M. I. & Moreira dos Santos, W. L. (2001). Evaluación de la terneza del bife angosto (músculo Longissimus dorsi) de bovinos machos castrados mestizos Nelore. Consultado el 3 de febrero de 2015, de <http://www.revistacyt.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2001/4-veterinarias/V-026.pdf>
- AMSA (2012). *Meat Color Measurement Guidelines*. USA. American Meat Science Association
- Andrés, N. A., Gutiérrez, C. J. & Parra, T. V. (2008). La agricultura y la ganadería extremeñas en 2007. Consultado el 27 de enero de 2015, de <http://www.unex.es/conoce-la-unex/centros/eia/archivos/iag/2007/La%20Agricultura%20y%20la%20Ganaderia%202007.pdf>
- Anzaldúa-Morales, A. 1994. *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. España: Acribia.
- Arvanitoyannis, I. S. & Stratakos, A. Ch. (2012). Application of Modified Atmosphere Packaging and Active/Smart Technologies to Red Meat and Poultry: A Review. *Food Bioprocess Technology*. 5: 1423-1446.
- Aspé, E. R., Roeckel, M. D., Martí, C. & Jiménez, R. (2008). Envasado de carne vacuno con hueso y grasa en atmósfera modificada con CO<sub>2</sub> Y CO. *Información Tecnológica*.19: 57-69.
- Belitz, H. D., Grosch, W. & Schieberle, P. (2004). *Food Chemistry*. Berlín: Springer Verlag.

- Bourne, C. (2002). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. USA: Academic Press.
- Braña, V. D., Ramírez, R. E., Rubio, L. M., Sánchez, E. A., Torrescano, U. G., Arenas, M. M., Partida, P. J., Ponce, A. E. & Ríos, R. F. (2011). Folleto técnico. Manual de Análisis de Calidad en Muestras de Carne. *Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal*. 11:1-89.
- Braun, R. D. & Pattacini, S. H. (2011). Calidad de la carne Porcina. Evaluación de propiedades tecnológicas de la res en cerdos alimentados con sorgo termoprocesado en la región semiárida pampeana. *Revista de la Facultad de Agronomía-UNL Pam*. 22: 5-11.
- Brody, A.L. (1993). *Envasado de alimentos en atmósferas controladas, modificadas y a vacío*. España: Acribia.
- Brody, A.L. (1996). *Envasado de alimentos en atmósferas controladas, modificadas y a vacío*. España: Acribia.
- Carbajal, L. M., Ospina, M., Martínez, A. O., Ramírez, S. C., Restrepo, C. C., Adarve, E.S. & Restrepo, E.S. (2008). Evaluación de textura a cinco cortes de carne de res conservados por esterilización en envase de hojalata. *Vitae. Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*. 15: 232-243.
- Carballo, B., López, T .G. & Madrid, A. (2001). *Tecnología de la carne y de los productos cárnicos*. España: AMV & Mundi.Prensa.
- Cañeque, V. & Sañudo, C. (2000). Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne en rumiantes. *Monografías INIA. Ganadera*. 1: 11-16.
- Celis, B. S. (2007). *Evaluación del efecto de la velocidad del aire en el proceso de congelación sobre propiedades mecánicas y la capacidad de retención de agua en carne de bovino*. Tesis de Licenciatura de Ingeniería en Alimentos. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
- Cheftel, J. C. (1989). *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*. España: Acribia.
- Coles, R., McDowell, D. & Kirwan, J. (2004). *Manual del envasado de alimentos y bebidas*. España: AMV & Mundi Prensa.

- Coria, H. J. (2014). *Evaluación del efecto de la liofilización en la estabilidad de las propiedades físicas, químicas y termodinámicas de las proteínas de carne de cerdo*. Tesis de Maestría en Ciencias de la Producción y de la Salud Humana. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
- De-Man, J. M., Voisey, P. W., Rasper, V. F. & Stanley, D. W. (1976). *Rheology and texture in food quality*. USA: The Avi Publishing Company.
- Di Wu & Da- Wen Sun (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control. A review. *Food Science and Technology*. 29: 5-20.
- FAO. (2008) Calidad de la carne. Consultado el 16 de enero de 2014, de <http://www.fao.org/ag/aqs/industrias-agroalimentarias/carne-y-leche/calidad-e-inocuidad-de-la-carne/calidad-de-la-carne/es/>
- Fennema, D. R. (1996). *Química de alimentos*. E.U.A.: MDI
- FDA (2002) Response regarding GRAS notice of carbon monoxide as a gas component in MAP systems for fresh meat destined to retail display. GRAS notice No. 000083. FDA. Office of Food Additive Safety. Consultado el 12 de febrero de 2015, de <http://www.fda.gov/ucm/groups/fdagov-public/@fdagov-foods-gen/documents/document/ucm265853.pdf>
- Fernández, A. E. (2007). *Evaluación de los cambios físicos de la carne de bovino congelada-descongelada y almacenada en refrigeración*. Tesis de Licenciatura de Ingeniería en Alimentos. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
- Forrest, J. C. (1979). *Fundamentos de ciencia de la carne*. España: Acribia.
- Franco, J., Feed, O., Bianchi, G., Garibotto, G., Ballesteros, F., Nan, F., Percovich, M., Piriz, M. & Bentancur, O. (2008). Parámetros de calidad de la carne en cinco músculos de Novillos Holando durante la maduración post-mortem. I. Calidad Instrumental. *Agrociencia*. 12: 61-68.
- Fungi, D. (1999). *Instrumental methods for quality assurance in foods*. USA: Quality Process.

- García, E., Gago, L. & Fernández, J .L. (2006). Tecnologías de envasado en atmósfera protectora. *CEIM Dirección General de Universidades e Investigación*. M: 42-918 .
- Genot, C. (2003). Congelación y calidad de la carne. España: Acribia.
- Girolami, A., Napolitano, F., Faraone, D. & Braghieri, A. (2013). Measurement of meat colour using a computer vision system. *Meat science*. 93: 111-118.
- Goenara, U. I. (2010). *Estabilidad del color de la carne de ternera*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agrónoma. España: Universidad Pública de Navarra. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
- Gómez, M. & Lorenzo, J. M. (2012). Effect of packaging conditions on shelf-life of fresh foal meat. *Meat science*. 91: 513-520.
- Guerrero, L. I. & Arteaga, M. M. (1990). *Tecnología de carnes. Elaboración y preservación de productos cárnicos*. México: Trillas.
- Guevara, J.C. (2010). *Empacado de Alimentos*. México: Trillas.
- Hawkins, R. R., Kemp, J. D., Ely, D. G., Fox, J.J., Moody, W. G. & Vimini, R. J. (1985). Carcass and meat characteristics of crossbred lambs born to ewes of different genetic types and slaughtered at different weights. *Livestock Science*. 12: 241-250.
- Hill, F. (1966). The solubility of intramuscular collagen in meat animals of various ages. *Journal Food Science*. 31: 161-166.
- Hui, Y. H., Guerrero, L. I. & Rosmini, M. R. (2006). *Ciencia y Tecnología de Carnes*. México: Limusa.
- Hunt, M.C., Marcini, R.A., Hachmeister K.A., Kropf, D.H., Merriman, M., Del Duca, G. & Milliken, G. (2004). Carbon monoxide in Modified Atmosphere Packaging affects color, shelf life, and microorganisms of beef steaks and ground beef. *Journal of Food Science*. 69: 45-52.
- Jayasingh, P., Cornforth, D. P., Carpenter, C. E. & Whittier, D. (2001). Evaluation of carbon monoxide treatment in modified atmosphere packaging or vacuum packaging to increase color stability of fresh beef. *Meat Science*. 59: 317-324.

- Jeong, J. Y. & Claus J. R. (2010). Color stability and reversion in carbon monoxide packaged ground beef. *Meat Science*. 85: 525-530.
- Kauffman, R. G., Eikelenboom, G., van der Wal, P. G., Engel, B. & Zaar, M. (1986). A comparison of methods to estimate water-holding capacity in post-rigor porcine muscle. *Meat Science*. 18: 307-322.
- Kerry, J., Kerry, J. & Ledward, D. (2002). *Meat Processing. Improving quality*: England: Woodhead.
- King, N. D. & Kenchington, R.L. (1980). *Advances in food analysis*. London: Applied Science.
- Kinsman, D. M., Kotula, A. W. & Breidenstein, B. C. (1994). *Muscle Foods. Meat Poultry and Seafood Technology*. EUA: Chapman & Hall.
- Konica Minolta (2014a). *Evaluación del color en la Industria de Carnes*. México: Konica Minolta Sensing Americas. Consultado el 4 de febrero de 2015, de [http://sensing.konicaminolta.com.mx/learning-center/white-papers/14KMMX\\_10Nov\\_colorevaluation\\_meatindustry\\_v112514.pdf](http://sensing.konicaminolta.com.mx/learning-center/white-papers/14KMMX_10Nov_colorevaluation_meatindustry_v112514.pdf)
- Konica Minolta (2014b). Entendiendo el espacio de color CIE L\*a\*b\*. México: Konica Minolta Sensing Americas. Consultado el 4 de febrero de 2015, de <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>
- Lawrie, R. A. (1985). *Meat Science*. England: Pergamon.
- Lawrie, R. A. (1998). *Ciencia de la carne*. España: Acribia.
- Lewis, M. J. (1993). *Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado*. España: Acribia.
- Libby, J.A. (1981). *Higiene de la carne*. México: CECSA.
- López, M. (1987). *Calidad de la canal y de la carne en los tipos lechal, ternasco y cordero de la raza Lacha y estudio de su desarrollo*. Tesis doctoral España: Facultad Veterinaria de Zaragoza.
- López de Torre, G. & Carballo, B. M. (1991). *Manual de bioquímica y tecnología de la carne*. España: AMV.

- Luckett, C. R., Kuttappan, V. A., Johnson, L. G., Owens, C. M. & Seo, H. (2004). Comparison of three instrumental methods for predicting sensory texture attributes of poultry deli meat. *Journal of Sensory Studies*. 29:171-181.
- Luño, M., Roncalés, Djenane, D. & Beltrán, J. A. (2000). Beef shelf life in low O<sub>2</sub> and high CO<sub>2</sub> atmospheres containing different low CO concentrations. *Meat Science*. 55: 413-419.
- Mamani, L. & Gallo, C.(2011). Composición química y calidad instrumental de carne de bovino, llama (Lama glama) y caballo bajo un sistema de crianza extensiva. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 22: 301-311.
- Mancini, R. A. & Hunt, M. C. (2005). Current research in meat color. *Meat science*. 71: 100-121.
- Marsh, B.B. (1977). The basics of tenderness in muscle foods. *Journal of Food Science*. 42: 295-305.
- Martens, H., Stabursvick, E. & Martens, M. (1982). Texture and colour changes in meat during cooking related to thermal denaturation of muscle proteins. *Journal of Texture Studies*. 13: 291-309.
- Murray, A.C. (1989). Factors affecting beef color at time of grading. *Canadian Journal of Animal Science*. 69: 347-355.
- NOM-194-SSA1-2004. Productos y Servicios. Especificaciones sanitarias en los establecimientos dedicados al sacrificio y faenado de los animales para abasto, almacenamiento, transporte y expendio. Especificaciones sanitarias de productos. Norma Oficial Mexicana.
- Oliver, M. A., Gispert, M., Diestre, A. (1990). Influencia de la composición del jamón en la calidad de la carne. *Cárnica 2000*. 78: 118-123.
- OMS, FAO. (2009). *Producción de alimentos de origen animal*. Roma: OMS (Organización Mundial de la Salud).
- Onega, P. M. E. (2003). *Evaluación de la Calidad de Carnes Frescas: Aplicación de Técnicas Analíticas, Instrumentales y Sensoriales*. Tesis de Doctorado. España: Universidad Complutense de Madrid.



- Palombo, R. & Wijngaards, G. (1990). Characterization of changes in psychometric colour attributes of comminuted porcine lean meat during processing. *Meat Science*. 28: 61-76.
- Padrón Pereira, C.A. (2009). Sistema de Visión Computarizada y Herramientas de Diseño. *Agronomía Constarricense*. 32: 283-301.
- Parry, R. (1993). *Envasado de los Alimentos en Atmósfera Modificada*. España: AMV.
- Pasachoa, M. J. (2010). *Comportamiento de carne bovina madurada empacada en condiciones de atmósfera modificada procedente de ganado de dos edades*. Tesis de Especialidad en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias.
- Pearson, A. M. & Dutson, T. R. (1985). *Advances in meat research*. USA. The Avi Publishing Company.
- Pérez, A., Fernández, L.J., Sayas, B.M. & Cartagena, G.R. (1998). Caracterización de los parámetros de color de diferentes materias primas usadas en la industria cárnica. *Eurocarne*. 63: 115-122.
- Peluffo, F. M. & Monteiro, R. M. (2002). Terneza: Una característica a tener en cuenta. *Revista del plan agropecuario*. 1: 18-21.
- Prandl, O., Fisher, A., Schmidhofer, T. & Hans-Jürgen, S. (1994). *Tecnología e Higiene de la carne*. España: Acribia.
- Price, J. F. & Schweigert, B.S. (1994). *Ciencia de la carne y de los Productos cárnicos*: España: Acribia.
- Ranken, M. D. (2003). *Manual Industrias de la carne*: España: AMV.
- Restrepo, M.D., Arango, M.C., Amézquita, C.A. & Restrepo, D.R. (2001). *Industrias de carnes*. Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Rivera, L. J., Vázquez, O.F., Ayala, Z. J. & González, A. G. (2005). Efecto del corte y la temperatura de almacenamiento en la calidad de papaya fresca cortada (arica papaya L. cv. "maradol"). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 6: 83-94.

- Rodout, A. C. (2004). *Reología y análisis de la textura de los alimentos*. España: Acribia.
- Rodríguez, C. M. (2005). *Guía Práctica para el Elaborador de Productos Cárnicos*. España: Vigo: Ideas propias.
- Rosenthal, A. J. (2001). *Textura de los alimentos. Medida y percepción*. España: Acribia.
- San Román, A. A. (1997). *Atmósfera Modificada una alternativa de Conservación para Frutas y Hortalizas*. Tesis de licenciatura de Ingeniería en Alimentos. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
- Sañudo, C. (1980). *Calidad de la canal y de la carne en el ternasco aragonés*. Tesis doctoral España: Facultad Veterinaria de Zaragoza.
- Sayas, M. E. (1997). *Contribuciones al proceso tecnológico de elaboración del jamón curado: aspectos físicos, fisicoquímicos y ultraestructurales en los procesos de curado tradicional y rápido*. Tesis doctoral España: Universidad Politécnica de Valencia.
- SCF, Scientific Committee on Food ; Opinion of the scientific committee on food on the use of carbon monoxide as component of packaging gases in modified atmosphere packaging gases in modified atmosphere packaging gases in modified atmosphere packaging for fresh meat, European Commission. Consultado el 10 de septiembre de 2014, de [http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out\\_112\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out_112_en.pdf).
- Sarriés, M. V. & Beriain, M. J. (2006). Colour and texture characteristics in meat of male and female foals. *Meat Science*. 74: 738-745.
- Sebranek, J. (2011). Comparación de métodos para medir textura. *Carne Tec*. Consultado el 24 de febrero de 2015, de <http://www.carnetec.com/Industry/TechnicalArticles/Details/19420#>
- Seyfert, M., Mancini, R. A., Hunt, M. C., Tang, J. & Faustman, C. (2007). Influence of carbon monoxide in package atmospheres containing oxygen on colour, reducing activity, and oxygen consumption of five bovine muscles. *Meat Science*. 75: 432-442.

- Smulders, F. J., Marsh, M. M., Swartz, D. R., Rusell, R. L. & Hoenecke, E. (1990). Beef tenderness and sarcomere length. *Meat Science*. 28: 349-358.
- Tapp, W. N., Yancey, J. W. S. & Apple, J. K. (2011). How is the instrumental color of meat measured? *Meat Science*. 89: 1-5.
- Tarrant, P. V. & Sherington, J. (1980). An investigation of ultimate pH in the muscle of commercial beef carcass. *Meat Science*. 4: 287-297.
- Teira, G. (2004). Actualidad y perspectivas de un componente principal de la calidad de carnes bovinas: la terneza. *Ciencia, Docencia y Tecnología*. 28: 215-244.
- Teira, G., Perlo, F., Bonato, P. & Tisocco, O. (2006). Calidad de carnes bovinas. Aspectos nutritivos y organolépticos relacionados con sistemas de alimentación y prácticas de elaboración. *Ciencia, Docencia y Tecnología*. 33: 173-193.
- UCO (2008) Capacidad de Retención de Agua. Generalidades. Revisión bibliográfica. Consultado el 20 de marzo de 2015, de [http://www.uco.es/organiza/departamentos/prod-animal/economia/aula/img/pictorex/07\\_09\\_40\\_3\\_REVCRA.pdf](http://www.uco.es/organiza/departamentos/prod-animal/economia/aula/img/pictorex/07_09_40_3_REVCRA.pdf)
- UNAD (2008a). Manejo y procesamiento de la carne. Rigor mortis. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Consultado el 22 de enero de 2015, de [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301106/EXE\\_301106/141\\_rigor\\_mortis.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301106/EXE_301106/141_rigor_mortis.html)
- UNAD (2008b). Manejo y procesamiento de la carne. Carne PSE (pálida, blanda y exudativa). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Consultado el 22 de enero de 2015, de [http://dadateca.unad.edu.co/contenidos/2015/Manejo%20y%20Procesamiento%20de%20Carne%2011/carne\\_pse\\_plida\\_blanda\\_exudativa.html](http://dadateca.unad.edu.co/contenidos/2015/Manejo%20y%20Procesamiento%20de%20Carne%2011/carne_pse_plida_blanda_exudativa.html)
- Varnam, A. H. & Sutherland J. P. (1995). *Carne y productos cárnicos. Tecnología, química y microbiología*. España: Acribia.
- Visier, A. & Consellon, M. A. (1980). *Industria de la carne: Salazones y chacinera*. España: Aedos.

- Young, D. A. & Braggins, T. J. (1993). Tenderness of Ovine Semimembranosus: Is Collagen Concentration or Solubility the Critical Factor?. *Meat Science*. 35: 213-222.
- Zhou, G. H., Xu, X. L. & Liu, B. (2010). Preservation technologies for fresh meat- A review. *Meat Science*. 1: 119-128.