

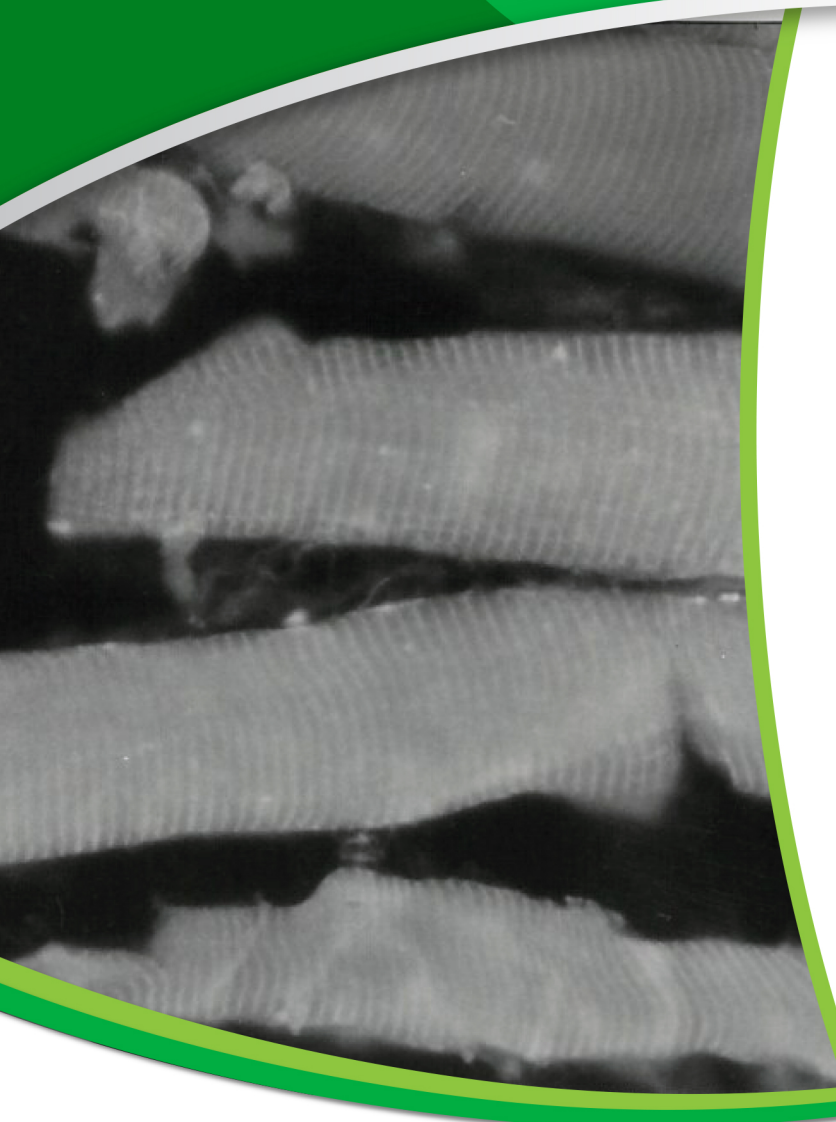


Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD IZTAPALAPA

Carne

Conceptos desde su producción hasta su conservación



María de Lourdes
Pérez Chabela

Edith **Ponce Alquicira**

Jorge **Soriano Santos**

Juan Manuel
Vargas Romero



Carne.

Conceptos desde su producción hasta su conservación

María de Lourdes Pérez Chabela
Edith Ponce Alquicira
Jorge Soriano Santos
Juan Manuel Vargas Romero





RECTOR GENERAL

Eduardo Abel Peñalosa Castro

SECRETARIO GENERAL

José Antonio de los Reyes Heredia

UNIDAD IZTAPALAPA

RECTOR

Rodrigo Díaz Cruz

SECRETARIO

Andrés Estrada Alexanders

DIRECTORA DE LA DIVISIÓN DE C. B. S.

Sara Lucía Camargo Ricalde

COORDINADOR DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

Federico Bañuelos Bárcena

JEFE DE LA SECCIÓN DE PRODUCCIÓN EDITORIAL

Adrian Felipe Valencia Llamas

Carne. Conceptos desde su producción hasta su conservación

Primera edición: 2020

© UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA-IZTAPALAPA

Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco, Núm. 186,
Col. Leyes de Reforma 1a. Sección, Alcaldía Iztapalapa,
C.P. 09310, Ciudad de México

ISBN: 978-607-28-1967-2

Impreso en México / Printed in Mexico

ÍNDICE

Prólogo	11
Capítulo 1. Carne y evolución	13
1.1. Introducción	15
1.2 Los primeros homínidos	15
1.2.1 Adaptaciones derivadas del consumo de proteínas animales	16
1.2.2 Descubrimiento del fuego	18
1.3 Producción de los alimentos	21
1.3.1 Inicio de la Agricultura	21
1.3.2 Ganado bovino en la actualidad	23
1.3.2.1 Diferencias Fenotípicas	24
1.3.2.2 Diferencias en la canal y su carne	25
1.4. Evolución de los rumiantes y las plantas	27
1.5 Conclusiones	29
Bibliografía	30
Capítulo 2. La producción de carne	33
2.1 Introducción	35
2.2. Sistemas de Alimentación	35
2.2.1 Sistemas de pastoreo	35
2.2.2 Sistemas estabulados	36
2.3 Disposición de los residuos	37
2.4 La nutrición animal en la producción de carne	38
2.4.1. Nutrientes involucrados	39
2.4.1.1 Las proteínas	39
2.4.1.2 La energía	40
2.4.1.3 Las vitaminas	42
2.4.1.4 Los minerales	42
2.5 El bienestar animal en la producción de carne	43
2.6 Factores estresores en la producción animal	45
2.7 Matanza Animal	46
2.7.1 Traslado	47
2.7.2 Aturdimiento	47
2.7.2.1 Perno cautivo	48
2.7.2.2 Choque eléctrico	48
2.7.2.3 Uso de gas	49

2.7.2.4 Aturdimiento correcto	49
2.7.3 Desangrado	50
2.8 Selección genética	51
2.8.1 Técnicas de detección de polimorfismo genético	53
2.8.2 Aplicaciones de la identificación genética	54
2.9 Conclusiones	56
Bibliografía	57
Capítulo 3. Evaluación de canales	63
3.1 Introducción	65
3.2 Sistemas de evaluación en el mundo	65
3.2.1 Sistema de grados de las canales en Estados Unidos de Norteamérica	67
3.2.1.1 Calidad de carne	67
3.2.1.2 Rendimiento de la canal	68
3.2.1.3 Grado de Calidad	69
3.3 Razas involucradas en la producción de carne	70
3.3.1 Bovino	71
3.3.2 Ovino	72
3.3.3 Caprino	72
3.3.4 Porcinos y aves	72
3.4 Conclusiones	73
Bibliografía	74
Capítulo 4. Estructura del músculo estriado	77
4.1 Introducción	79
4.2 Composición del Músculo	79
4.2.1. Tejido Muscular	79
4.2.2 Proteínas del músculo	81
4.2.2.1 Proteínas miofibrilares	82
4.2.2.1.1 Proteínas contráctiles	82
4.2.2.1.2 Proteínas reguladoras	83
4.2.2.1.3 Filamentos intermediarios	84
4.2.2.2 Proteínas del tejido conectivo	85
4.2.2.2.1 Colágena	85
4.2.2.2.2 Elastina	86
4.2.2.2.3 Reticulina	86
4.2.2.3 Proteínas sarcoplásmicas	87
4.2.2.3.1 Mioglobina	87
4.2.3 Tejido graso	88

4.2.4 Tejido óseo	88
4.2.4.1 Cartílago	89
4.2.5 Tejido nervioso	89
4.2.6 Tejido epitelial	89
4.3 Glucólisis <i>postmortem</i>	89
4.4 Contracción-Relajación	91
4.4.1 <i>Rigor mortis</i>	92
4.5 Conversión de músculo a carne	93
4.6 Maduración de la carne	95
4.6.1 Enzimas exógenas	95
4.6.1.1 Enzimas de origen vegetal	95
4.6.1.2 Enzimas de origen microbiano	96
4.6.2 Enzimas endógenas	97
4.6.2.1 Catepsinas	97
4.6.2.2 Calpainas	98
4.6.2.3 Otro sistema enzimático involucrado en el ablandamiento	100
4.7 Fenómenos que causan carne de mala calidad	100
4.7.1 Estrés	100
4.7.1.1 PSE	100
4.7.1.2 DFD	102
4.7.2 ATP Residual	103
4.7.2.1 Acortamiento por frío	103
4.7.2.2 Rigor de descongelación	104
4.8 Conclusiones	105
Bibliografía	106
Capítulo 5. Propiedades Funcionales de la Carne	111
5.1 Introducción	113
5.2 Capacidad de retención de agua y jugosidad	114
5.2.1 Localización y movilidad del agua dentro de la estructura muscular	115
5.2.2 Variación de la CRA por cambios post-mortem	116
5.3 El color de la carne fresca	118
5.3.1 Estructura de la mioglobina	119
5.3.2 Variaciones en el color de la carne fresca	121
5.3.3 Factores que modifican el color de la carne fresca	123
5.3.4 Medición del color	126
5.4. Terneza	127
5.5 Conclusiones	128
Bibliografía	129

Capítulo 6. Valor nutricional de la carne	133
6.1 Introducción	135
6.2 Carbohidratos	136
6.3 Proteína y valor nutritivo de las proteínas	136
6.4 Lípidos	139
6.5 Composición de ácidos grasos	140
6.6 Vitaminas y minerales	142
6.7 Carne y salud humana	143
6.8 Conclusión	146
Bibliografía	148
Capítulo 7. Métodos de conservación de la carne	155
7.1 Introducción	157
7.2 Tecnología de barreras	158
7.3 Métodos de Conservación tradicionales	158
7.3.1 Salado y secado	161
7.3.1.1 Microbiología de la carne salada y secada	162
7.3.2 Refrigeración	163
7.3.2.1 Microbiología de la carne refrigerada	164
7.3.2.2. Maduración de la carne en refrigeración	165
7.3.2.3 Utilización de antimicrobianos durante la refrigeración	165
7.3.3 Congelación	166
7.3.3.1 Microbiología de la carne congelada	168
7.3.4 Ventajas y desventajas de los métodos de conservación tradicionales	169
7.4 Conclusiones	170
Bibliografía	171
Capítulo 8. Tecnologías alternas en la conservación de carne	175
8.1 Introducción	177
8.2 Tecnologías de conservación térmicas	178
8.2.1 Súper-enfriado	178
8.2.2 Congelación ultra-rápida	180
8.2.3 Congelación por hidra-fluidización	180
8.2.4 Congelación por impacto	180
8.2.5 Congelación asistida por altas presiones hidrostáticas	181
8.2.6 Congelación asistida por ultrasonido	183

8.2.7 Técnicas alternas para descongelación	184
8.2.7.1 Descongelación asistida por microondas	185
8.2.7.2 Descongelación asistida por altas presiones	185
8.2.7.3. Descongelación asistida por ultrasonido	186
8.2.7.4. Descongelación asistida por pulsos eléctricos de alto voltaje	186
8.3 Tecnologías de conservación no térmica	187
8.3.1 Radiación ionizante	187
8.3.2 Tratamiento con luz UV	189
8.3.3 Pulsos eléctricos de alto voltaje	190
8.3.4 Tecnología de plasma frío	191
8.3.5 Ultrasonido	192
8.4 Empacado de carne fresca	193
8.4.1 Sistema de empaque permeable	194
8.4.2 Sistema de empaque al vacío	194
8.4.3 Sistema de empaque en atmósfera modificada	195
8.4.4 Materiales de película	197
8.4.5 Empaques activos e inteligentes	198
8.4.6 Materiales nanocompuestos y biodegradables	199
8.5 Conclusiones	202
Bibliografía	203

Prólogo

El contenido de este libro está diseñado para que los alumnos de Tecnología de Carnes de la Licenciatura de Ingeniería de los Alimentos de la Universidad Autónoma Metropolitana puedan contar con la información suficiente. Sin embargo, alumnos de otras Licenciaturas involucradas en estas temáticas pudieran encontrar útil alguna información muy puntual que aquí se aborda.

La lectura resultará interesante porque se describe la importancia de la carne en la evolución del ser humano, desde los primeros primates hasta lo que somos hoy en día; para después abordar tópicos que resultarán atractivos para entender el contexto global bajo el cual se desarrolla la producción de carne, desde las razas que se utilizan y su mejoramiento genético, hasta las últimas investigaciones que garantizan el menor maltrato de los animales en su matanza.

La importancia de la estructura muscular y la conversión de músculo a carne es ampliamente revisada. Las propiedades funcionales de la carne: color, textura, capacidad de retención de agua, son explicados para su correcta aplicación e interpretación.

El valor nutricional de la carne y su importancia en la dieta humana es abordado desde el punto de vista bioquímico. Los métodos de conservación tradicionales que se ocupan en la carne, así como las nuevas tecnologías alternas en la conservación completan esta obra.

Todos estos conceptos vienen a reforzar el aprendizaje de los alumnos que cursan la materia de Tecnología de Carnes de la Licenciatura de Ingeniería de los Alimentos.

La finalidad del libro es que los alumnos cuenten con un texto que reúna todo el contenido sintético de la UEA (Unidad de Enseñanza Aprendizaje).

Esperamos que este libro cumpla con su función y sirva en la formación de los futuros Ingenieros de los Alimentos.

Capítulo 1.

Carne y evolución

Juan Manuel Vargas Romero

1.1. Introducción

Para los humanos la carne es una de las fuentes de proteínas más importantes, además aporta grasas, vitaminas del complejo B, vitaminas A y D, hierro, zinc y otras sustancias esenciales para un desarrollo físico e intelectual adecuado; sin embargo, la información tergiversada (o falta de ella), ha ocasionado que algunos grupos actuales como los ambientalistas, animalistas y veganos desestimen e incluso estigmaticen su consumo. Aún en estos tiempos, resulta injusto no revisar los orígenes y los grandes aportes que ha brindado a la humanidad el consumo de productos de origen animal, en especial: la carne. Hay evidencia suficiente para afirmar que el consumo de carne ha influido positivamente en los cambios morfológicos craneo-dentales e intestinales que han propiciado una postura erecta humana y modificado (para bien) las características reproductivas, aumentado las expectativas de vida útil, y tal vez lo más importante, ha incrementado la capacidad encefálica y potenciado el desarrollo intelectual del ser humano (Mann, 2018).

1.2 Los primeros homínidos

Los primates iniciales tenían una dieta a base de frutas, semillas, pastos, forrajes y tubérculos, su desplazamiento era sobre sus cuatro patas. Cuando algunos individuos comenzaron el consumo de carne y vísceras tuvieron la necesidad de desplazarse en dos patas, lo que originó a los primeros homínidos sobre el planeta tierra. Los hallazgos arqueológicos sugieren que el consumo de carne tuvo sus inicios en el canibalismo y la carroña hace cuatro millones de años, como resultado de los enfrentamientos de los diferentes grupos de *Australopithecus sp.* por la disputa del territorio y los alimentos (Thompson, 1975). Debido a que era muy alta la vulnerabilidad de estos primeros grupos sociales, fue necesario obtener rápidamente el alimento de alto valor biológico (la carne) y trasladarlo a sus refugios; entonces el desplazamiento a mayor velocidad se convirtió en una necesidad, para poder cargar simultáneamente algunas herramientas, alimentos y las nuevas crías de estos individuos. Para lograr esto, tuvieron que adquirir una postura diferente en el desplazamiento, este cambio coincide también con el cambio climático de la época, por lo que estos pudieron ser los factores

más importantes que condujeron a los primates a modificar su postura inicial al desplazarse, de cuatro a dos patas (Carvalho y col., 2012).

Otros autores han demostrado que el cambio de postura está íntimamente relacionado con actividades de alta prioridad para los grupos de primates y que este tipo de desplazamiento se ocupa principalmente durante el acarreo de alimentos (Hewes, 1961), lo que abona a la hipótesis de que los homínidos consideraron la alimentación a base de carroña y canibalismo como elemento importante en su desarrollo; un punto interesante es esta hipótesis son los trabajos realizados por diferentes autores que demuestran que el cambio de postura sólo sucede cuando los alimentos a desplazar son escasos o valiosos (Duarte y col., 2012); esto sugiere que cuando la carne comenzó a ser parte importante en la dieta de estos seres, comenzaron a existir nuevos comportamientos y evoluciones fisiológico-anatómicas; si se considera que la dieta es fundamental para casi todos los aspectos de la ecología de los primates y comportamiento, entonces resultan lógicos los argumentos de algunos autores que mencionan que la disponibilidad estacional, el tipo y la calidad, y las características físicas de los alimentos impactan en los patrones de migración, organización social y tamaño de la población, así como la morfología craneal y dental que se relaciona con la adquisición, ingestión, masticación y digestión de los alimentos. Con la carne como nuevo componente dietético, era inevitable que la estructura física e intelectual de estos individuos se modificara, tal como se reporta en algunos estudios que demuestran que los individuos *Australopithecus africanus*, sufrieron de menos desgaste dental y con ello aumentaron sus expectativas de vida cuando incorporaron alimentos suaves a su dieta (carne y vísceras), en contraste con algunos grupos sociales de primates contemporáneos que no lo hicieron hace 2.5 millones de años (Peterson y col., 2018).

1.2.1 Adaptaciones derivadas del consumo de proteínas animales

El género *Homo sp.*, considerado como el verdadero inicio del linaje humano actual, tiene diversas particularidades en su dieta, sobre todo aquellas que señalan una alimentación con las vísceras de los animales muertos o cazados; este consumo de vísceras y su contenido (quimo), habría permitido a estos homínidos extintos obtener calorías fácilmente de fuentes vegetales

sin el costo metabólico de digerirlos; es decir, los animales herbívoros que consumían forrajes tendrían una microflora especializada para la degradación de las paredes celulares de los vegetales, características que aprovecharían los primeros *Homo sp.* que al consumir estas bacterias contenidas en el tracto gastrointestinal de los animales forrajeros, ellos podrían beneficiarse al facilitar la digestión de algunos alimentos de origen vegetal. Con la práctica de estos hábitos alimenticios, era inevitable la transformación del tracto gastrointestinal de los *Homo sp.* en comparación con los *Australopithecus sp.*; comenzando con los dientes en los que el área de superficie total de las piezas frontales aumentó de 460 mm² a 756 mm², lo que significa que el desgaste fue menor por el consumo de alimentos más suaves, además el área de la superficie dental de los postcaninos disminuyó de 478 mm² a 377 mm² como resultado de consumir menos forrajes y semillas; hay evidencia de que el tamaño de los dientes molares y los dientes frontales más fuertes fueron el resultado de cambios en la dieta y al desgarrar y masticación de la carne (Speth, 1989). También hubo cambios en la morfología intestinal que reflejaron el impacto de una dieta de alta calidad; uno de los cambios más notorios fue la reducción del intestino en el género *Homo*, puesto que la carne es de fácil digestión en comparación con los forrajes y semillas, además de que aumentó la ingesta de calorías y con ello comenzó el proceso conocido como “encefalización”, además se redujeron los intervalos entre nacimientos y se aumentó el éxito reproductivo en el linaje humano (Buck y col., 2016).

Hoy se asume que todas las especies posteriores de *Homo* (*H. habilis*, *H. rudolfensis* y *H. ergaster*) son provenientes de las especies de *Australopithecus sp.*; y queda claro que las diferencias más significativas entre los primeros homínidos (*Australopithecus sp.*) y los homínidos evolucionados (*Homo sp.*) es la masticación adaptada a alimentos suaves y un sistema cerebral amplificado; estos hallazgos arqueológicos sugieren fuertemente que el consumo de carne, vísceras y asociados, jugó un papel determinante en la evolución de linaje humano al mejorar la calidad de la dieta, tras cambiar el consumo de forrajes y semillas por el de proteína animal que aumentó sus capacidades cognitivas.

Hace aproximadamente 2.6 millones de años (antes de los primeros homínidos), las herramientas de piedra estaban ausentes en los sitios que

contenían fósiles de primates, cuyo tamaño del cerebro era similar al de los actuales chimpancés, los dientes de las mejillas y las estructuras masticatorias de soporte eran enormes, lo que coincide con el casi inexistente consumo de proteína animal. Hace 2 millones de años aproximadamente, los homínidos comenzaron a construir herramientas los *Homo sp.*, como el *H. ergaster* que comenzó a tener comportamientos conocidos hoy en día como “humanizados”. También hay señales de golpes por herramientas en los esqueletos animales de la época, época que es considerada por algunos autores como el momento de la “expansión cerebral” y el inicio del linaje humano *per se*. Fue hasta 1.8 Ma aproximadamente, que comenzó a aparecer el *H. habilis*, con claras evidencias de sistemas masticatorios reducidos, lo que significa claramente que los alimentos que consumía no eran toscos, asumiendo que no provenían de fuentes vegetales, estos hechos aunados a la presencia de herramientas de trituración y maceración utilizadas para la caza animal, representan un hito en la evolución de los primates (Lordkipanidze, 2017).

1.2.2 Descubrimiento del fuego

Ahora resulta elemental saber que las prácticas de consumo de los productos crudos representaban un alto riesgo sanitario y que la alimentación en esa época era un riesgo *per se*, así que se necesitaba de un suceso igual de importante que los mencionados anteriormente: el descubrimiento del fuego. Este descubrimiento se ubica al norte de Europa, lo que coincide geográficamente con el consumo mayoritario de carne y grasa, por lo que se cree que están relacionados íntimamente; los *Homo heidelbergensis* fueron los autores de los vestigios más importantes en el estudio del descubrimiento del fuego “las lanzas de Schöningen encontradas en Alemania” que constituyen las armas fabricadas más antiguas conocidas por la humanidad y que eran utilizadas hace 400,000 años para realizar la cacería, estas lanzas tienen la peculiaridad de poseer la punta con huellas de haber sido quemada para hacerla más resistente y facilitar la matanza de los animales cazados. Este hecho ha permitido que algunos autores consideren que son los vestigios que indican el dominio del fuego por el género *Homo sp.*, sin embargo, las pruebas de laboratorio más recientes demuestran que las lanzas no fueron sometidas al trabajo manual y que quizá sólo fueron quemadas fortuita-

mente, lo que pondría en entredicho la fecha en que el género *Homo sp.* dominó el fuego (Stahlschmidt y col., 2015). De cualquier modo el fuego ha estado desde entonces relacionado a diversas necesidades humanas, ya sea que se haya obtenido de los incendios ambientales fortuitos o controlados, ha sido utilizado desde entonces como fuente de luz y calefacción, ayuda en la caza, limpieza de refugios, protección contra los depredadores y mejorar en consecuencia la tecnología de la herramienta e incrementar la variedad de alimentos incorporados a la dieta, en especial para mejorar el valor nutricional y la conservación de la carne; los cambios cerebrales y el incremento intelectual en los ancestros de los humanos, coincide con el uso del fuego para la cocción de los alimentos, al hacerlos más digeribles y facilitando su conservación, además de otorgar cierto grado de inocuidad y mejorando en consecuencia la calidad de vida de los individuos de los grupos sociales ancestrales (Pruetz y col., 2010).

Estas teorías son reforzadas con los hallazgos de algunos estudios que demuestran que algunos chimpancés (*Pan troglodytes verus*) en Fongoli, Senegal, parecen ser capaces de “predecir el comportamiento” de incendios forestales de diversas intensidades, estas conductas son tan certeras que las autoridades locales las utilizan para actuar con antelación y poder prevenir los incendios forestales. En estos mismos trabajos de investigación, se ha observado que después de un incendio, los chimpancés visitan hasta un 75% más veces las áreas quemadas en busca de comida “cocinada” en comparación con las áreas no quemadas; estas observaciones pueden ayudar a informar hipótesis paleoantropológicas con respecto a los primeros miembros del linaje humano y pueden proporcionar conocimiento de la capacidad de los primeros homínidos para conceptualizar el comportamiento del fuego y así utilizarlo para su beneficio (Pruetz y col., 2017).

En el siguiente Cuadro se puede observar el aumento de la masa encefálica a través del tiempo, lo que se ha asociado al consumo de proteína animal.

Cuadro 1. Peso y volumen cerebral de los diferentes taxones involucrados en la evolución del linaje humano

Taxon	Fecha (millones de años)	Peso Vivo (kg)		Altura (cm)		Peso del cerebro (g)	Coeficiente de encefalización ¹
		Macho	Hembra	Macho	Hembra		
<i>Australopithecus afarensis</i>	3-9-3	45	29	151	105	434	2.5
<i>Australopithecus africanus</i>	3-2-4	41	30	138	115	448	2.7
<i>Homo habilis</i>	1.9-1.6	37	32	131	100	601	3.6
<i>Homo sapiens</i>	Actual	58	49	175	161	1350	5.8

Adaptado de Mc Henry & Coffing, 2000

¹ Calculado de dividir el peso cerebral entre (11.22 x peso vivo^{0.76})

1.3 Producción de los alimentos

Uno de los grandes acontecimientos que marcó la evolución humana, fue cuando el *Homo sapiens* dejó de recorrer grandes extensiones del territorio para producir sus propios alimentos, este sería el inicio de la Agricultura, entendiendo que la producción de plantas y animales están íntimamente relacionados.

1.3.1 Inicio de la Agricultura

Con el transcurrir de los siglos, el *Homo sapiens* descubrió y refinó las técnicas para proveer de alimentos a un menor costo energético. Fue desde el año 8,000 a.c. aproximadamente cuando la agricultura hizo su aparición formalmente en el desarrollo de la humanidad moderna. Con las nuevas tecnologías que le permitieron abastecerse de “alimentos vegetales domesticados” sucedió otro importante acontecimiento para el desarrollo de la humanidad, dejaron de ser colectores y cazadores para convertirse en culturas sedentarias que obtendrían sus alimentos de la siembra y tiempo después de la ganadería.

Uno de los primeros animales en domesticar fue le *Bos primigenius*, se trata del antecesor remoto del bovino domesticado de hoy en día, bien identificado en el contexto de la rotación de la fauna del Pleistoceno de edad media y restos humanos dispersos en Gesher Benot Ya'aqov, Israel (hace 0.8 millones de años); este sitio representa un sitio clave para entender como distribuyeron los humanos y los animales ungulados (con pezuña) hacia Europa y Asia, a partir del actual continente Africano; por lo anterior, el estudio de los bóvidos de esta localidad, es trascendental para describir su origen geográfico y la posible ruta de dispersión que podría proporcionar datos cruciales para la comprensión del contexto ecológico para los humanos que emigraron también de África y dispersaron la tecnología Acheuilana (o Achelence) hace 2 millones de años aproximadamente, cuando las herramientas eran de piedra. Junto a los hallazgos de las herramientas, también se localizaron restos de *Elephas antiquus* y más tarde del *Bos acutrifons* (Martínez y col., 2011), esto sugiere que los primeros ejemplares de ganado domesticado en China, procedían del noreste de China a través de la estepa de Mongolia en el periodo Neolítico, que fue justamente cuando creció significativamente la agricultura ancestral (Cai y col., 2018).

Hay evidencias que indican que el *Bos primigenius taurus* (bovinos europeos modernos) tienen como antecesor al *B. primigenius*, que tenía algunas variantes de tamaño como el enano adulto de *B. primigenius* que dieron origen al *B. taurus primigenius* doméstico y al *B. urus minutus*, como una forma de *B. primigenius* empequeñecido por la Edad de Hielo; esto significa que los rumiantes utilizados en la ganadería moderna tienen un antecesor común, y lo que observamos ahora, no son más que variantes evolutivas de este *B. primigenius*. Algunos autores han estudiado los primeros depósitos del *B. primigenius* en el Holoceno (hace 10 mil años) en el norte de Europa, estudiando la relación entre el tamaño absoluto, las proporciones craneales, los ángulos y los caracteres no medibles como la edad y el sexo, concluyendo que las dos formas de tamaño de *B. primigenius* son simplemente la expresión del dimorfismo sexual, señalando que las dos formas de *B. primigenius* y *B. taurus* son tan similares que forman un continuo y deben considerarse del mismo taxón, y que donde *B. taurus* difiere de *B. primigenius*, las diferencias generalmente pueden atribuirse a la raza y pueden describirse como especializaciones; lo que implica que desde el *B. primigenius* la especialización de las razas ya era evidente y sugiere que la selección genética empezó desde entonces (Grigson, 1978); es decir, que los humanos ancestrales podrían ya elegir a estos animales de acuerdo a lo que hoy llamaríamos función zootécnica, pudiendo obtener diferentes beneficios de ellos, como piel, carne, leche, crías o algún otro beneficio no estudiado.

La mayoría de los investigadores están de acuerdo en que la ganadería precedió a la agricultura y que esta última vendría a complementar las prácticas pastoralistas más tardíamente (Agüero, 2005); de hecho algunos investigadores señalan que para las migraciones y asentamientos humanos, el clima no fue determinante, sino las actividades relacionadas a la domesticación de especies productivas derivadas de la ganadería; de tal manera que, el consumo de carne y las tareas asociadas a ello marcaron el rumbo de la evolución humana (Bennet, 1964).

En un principio el *B. primigenius* (Uro) fue seleccionado y utilizado por los primeros pobladores, debido a que los cuernos de este animal que utilizaba para “defenderse de sus depredadores” eran relativamente pequeños; este fue probablemente el primer criterio de selección para la crianza de ganado, característica que persiste hasta nuestros días en el ganado domésti-

co vacuno (Feliuss y col., 2011). La domesticación del ganado es uno de los primeros éxitos en la historia de la agricultura universal que sucedió hace 10,500 años en el norte de Siria junto al Eufrates, mientras sucedía lo mismo en las montañas al sureste de Turquía. Tiempo después (hace 9,000 años) se lograban la primera reproducción del ganado al oeste de Irak. Con estos acontecimientos el ganado vacuno se convirtió en los primeros animales completamente domesticados que proveían de carne, leche y cobijo a los pobladores de la tierra (Schafberg y col., 2015); así entonces el Uro (*Bos primigenius primigenius*) es reconocido como el antecesor del ganado vacuno moderno, y las variantes fenotípicas fueron inducidas por la selección de los pobladores y el uso que les daban a los rebaños que poseían. Algunos autores mencionan que estos acontecimientos son tan importantes que las sociedades exitosas, comenzaron con la correcta reproducción del ganado de manera inequívoca, lo que garantizaba su acceso a la alimentación de proteínas de origen animal (Schibler y col., 2014).

Con la domesticación completa del ganado comenzaron los avances en la producción de animales para su consumo, cuyos inicios se localizan en el sur europeo y en las costas del Mediterráneo hace 8,800 años (Bollongino y col., 2012). Anteriormente se consideraba que esta domesticación se debió a la práctica de cruzamientos entre el ganado domesticado y los Uros salvajes, sin embargo esta teoría está totalmente descartada hoy en día, lo que sugiere que las razas actuales son derivadas de selecciones genéticas muy localizadas y claramente circunscritas a factores humanos (Bollongino y col., 2006), para poder llegar a los dos grandes grupos de bovinos actuales: los bovinos europeos (*Bos primigenius taurus*) y los cebuinos (*Bos primigenius indicus*).

1.3.2 Ganado bovino en la actualidad

Para comprender mejor la taxonomía del ganado actual hay que remitirse a lo que señala la Comisión Internacional de Nomenclatura Zoológica (Comisión Internacional de Nomenclatura Zoológica, 2009) para observar una clasificación establecida por un grupo importante de taxonomistas, que sugieren utilizar el nombre *Bos primigenius* si se refiere a la especie salvaje, cuyo representante actual es el toro de lidia; después habrá que considerar una reagrupación de sus variantes domesticadas considerando algunos

factores: cuando se considere que el ganado vacuno es una subespecie del Uro se utilizará el término *Bos primigenius taurus*; si se considera que los bovinos son una especie distante del Uro primitivo, entonces se puede utilizar el término *Bos taurus*. Sin embargo, en el caso de los bovinos con joroba (cebuinos) hubo cambios significativos, ya que son considerados como una misma especie junto al ganado europeo (sin joroba) y deberán de considerarse como una subespecie de *Bos taurus*, debiendo denominarlos *Bos primigenius taurus indicus* o *Bos taurus indicus*.

Es de estos dos grupos *Bos taurus* (ganado europeo) y *Bos taurus indicus* (ganado cebuino), que se realizan los actuales programas de mejoramiento genético, buscando mayor producción de carne o enfatizando alguna característica de interés en las propiedades de la carne.

Entre el ganado europeo y el cebuino existen diferencias notables e importantes que deben de ser consideradas en la producción, procesamiento y conservación de la carne.

1.3.2.1 Diferencias Fenotípicas

Las diferencias en la apariencia de los bovinos europeos y los cebuinos es evidente y está relacionado en gran medida al sitio en donde evolucionaron durante los últimos siglos. El ganado europeo evolucionó en climas templados y fríos, mientras que el ganado cebuino lo hizo en ambientes áridos y calurosos; esto explica la diferencia en el grosor de piel, porque el ganado europeo requería de una cobertura gruesa de piel y grasa que le permitiera conservar el calor durante más tiempo, en contraste con el ganado cebuino (*Bos taurus indicus*) que requería una piel delgada con una gran cantidad de pliegues que le permitieran tener una buena superficie de contacto con la que podía perder calor rápidamente y así conservar la temperatura estable a pesar de permanecer en ambientes con temperaturas superiores a los 35°C. Estos grandes pliegues son notorios en la papada, prepucio, giba (joroba) y en las orejas, en comparación con los bovinos europeos (*Bos taurus*).

El cráneo y las orejas también presentan marcadas diferencias entre ambos grupos de ganado, puesto que el ganado cebuino requiere de una cabeza grande y orejas de gran proporción para poder realizar el intercambio calórico con el ambiente y así mantener una temperatura corporal compatible

con la vida en ambientes extremos en los que habita; a diferencia del ganado europeo que “requiere una cabeza y orejas pequeñas”, para no tener grandes pérdidas de calor en los climas fríos del norte donde comenzó su evolución. Los cuernos grandes, el cuello largo y la presencia de una joroba (denominada giba) son característicos del ganado cebuino, y contribuyen a la hipótesis de la necesidad de contar con más apéndices y partes corporales que le permitieran deshacerse de los excesos de calor rápidamente; el sistema óseo y muscular también son de suma importancia en la generación de calor, es por ello que el ganado europeo tiene huesos cortos y es comúnmente más musculoso que el ganado cebuino, sobre todo en las patas traseras y lomo, teniendo así una apariencia compacta y redondeada en comparación con la línea delgada y alargada de un típico animal cebuino.



Figura 1.1 Diferencias fenotípicas entre *Bos taurus* y *Bos taurus indicus*. El ganado *Bos taurus indicus* (cebuinos), presenta jiba (joroba), papada y un prepucio pendulante, en contraste con el ganado *Bos taurus* (europeo).

1.3.2.2 Diferencias en la canal y su carne

De acuerdo con Castro (1984), la ganadería de carne se ha desarrollado con dos tipos de bovinos: el *Bos taurus* (europeo) y el *Bos taurus indicus* (cebuino). Los dos se han utilizado para cría, desarrollo y engorde. Para las condiciones tropicales de producción intensiva de carne lo recomendable es utilizar cruces entre ambos grupos ya que el ganado europeo es más dócil y precoz en tanto que el cebuino es más rústico y adaptable a las condiciones tropicales.

Las comparaciones entre los animales cebuinos y europeos se centran en la calidad de carne y las características de su canal. Este último término se refiere al animal muerto desprovisto de piel, vísceras, patas y cabeza.

Las principales diferencias entre el ganado europeo y el cebuino radican en la calidad de su carne y en la eficiencia productiva. Como se mencionó anteriormente, ambos grupos genéticos pertenecen a ambientes distintos, los cebuinos evolucionaron en un ambiente caluroso y en zonas con poca disponibilidad de alimentos, por ello los *Bos taurus indicus* son considerados como animales rústicos, que se refiere a que se pueden adaptar más fácilmente a lugares con más de 35°C y con poco forraje disponible en algunas épocas del año, junto a esta rusticidad también destaca el hecho de que estos animales pueden ganar peso rápidamente en condiciones de abundante alimento, sin embargo esta ganancia de peso no es del todo conveniente para los intereses productivos del ser humano, puesto que la conformación de su canal es muy grasosa (externamente) y con menos rendimientos de carne magra. Esto se puede observar al comparar los rendimientos en canal de ambos grupos de bovinos, el ganado europeo puede presentar rendimientos en canal de hasta 61%, mientras que los ejemplares de ganado cebuino no rebasan el 58%; desde luego que actualmente estos indicadores son ampliamente manipulados por los criadores a través del mejoramiento genético, la alimentación y el uso de algunos promotores del crecimiento (Brito y col., Jiménez y col., 2014).

Una característica intrínseca de la carne y que permite percibir diferencias entre ambos grupos genéticos es respecto a la suavidad de la carne, medida con algunos equipos especializados que evalúan la resistencia de sus fibras musculares, esta suavidad se atribuye a los diferentes niveles de enzimas proteolíticas encontradas en los músculos de los animales (Whipple y col., 1990), especialmente las enzimas del sistema de calpaína. Wheeler y col., (1990) encontraron una menor expresión de la proteína μ -calpaína y una mayor expresión de la proteína calpastatina en la raza Brahman (*Bos taurus indicus*) en comparación con Hereford (*Bos taurus*), lo que ocasionó una menor suavidad en la carne de *B. taurus indicus*, esto se explica porque la calpastatina es un inhibidor de la calpaína (Giusti y col., 2013), ya que esta proteína juega un papel central en la proteólisis post mortem y tenderización de la carne, pudiendo indicar que el tipo de músculo, el tipo de fibra, sexo, edad y las estrategias de alimentación pueden influir en la expresión y/o las actividades de las calpaínas y la calpastatina; siendo esta una de las principales diferencias entre el ganado cebuino y el europeo, la suavidad de la carne.

Otra diferencia entre el ganado cebuino y el europeo, es el contenido de grasa en la canal, pero el punto medular no es cuánta grasa acumula el animal, sino en dónde. Cuando el alimento es abundante y de buena calidad el animal incrementará su masa muscular y después irá acumulando el exceso de energía en forma de grasa, primero se formarán los depósitos entre las vísceras abdominales, cuando este depósito se sature comenzará el depósito por debajo de la piel (subcutáneo), para después comenzar a infiltrarse entre los grandes músculos (intermuscular) y finalizar con la infiltración entre las fibras musculares es decir dentro del músculo (intramuscular); como se puede observar, la deposición grasa intramuscular es la última que sucede y por lo tanto es de difícil y tardío alcance, lo que la convierte en un atributo apreciado y cotizado. Este contenido de grasa intramuscular le confiere a la carne propiedades de suavidad, jugosidad y terneza, particularmente en los músculos del lomo (*Longissimus dorsi*); entonces, a medida que aumenta el contenido de grasa en la carne también lo hace la suavidad y jugosidad percibida por el comensal, debido a que la carne se vuelve menos densa, aunque no necesariamente significa que la carne sea más suave en realidad, puesto que para ello se involucran factores fisiológicos propios del animal, como edad, sexo y raza.

1.4. Evolución de los rumiantes y las plantas

Los rumiantes son aquellos animales que tienen un estómago dividido en cuatro compartimientos especializados en diferentes procesos, el primer compartimento es el rumen, que se encarga de fermentar el alimento, el segundo es conocido como retículo y su función es la de continuar la fermentación y reducir el tamaño de los alimentos a través del retorno de una parte del alimento a la boca del rumiante (rumia), para que después el alimento viaje al omaso en donde será acondicionado y esté listo para depositarse en el abomaso en donde se realizará una digestión ácida, del mismo modo que sucede en los mamíferos que no son rumiantes. Los bovinos, caprinos y ovinos en especial, evolucionaron y adquirieron la capacidad de fermentar el alimento en el rumen, en donde albergan millones de bacterias en condición de anaerobiosis, gracias a lo cual poseen enzimas que hidrolizan la configuración beta de los enlaces glucosídicos 1-4 de la celulosa que existe en los forrajes. La morfología y fisiología de los rumiantes están adaptados para albergar estos simbiontes microbianos que ayudan a la degradación de los polímeros de la

pared celular, permitiendo la digestión de fibras vegetales, condición que no existe en los animales no rumiantes y por lo cual el consumo de forrajes es de poco valor nutritivo para ellos. Los niveles de polisacáridos estructurales en la planta son muy diferentes por el grado de madurez, entre las hojas, tallo e inflorescencia; por lo cual el valor nutricional del forraje consumido por los rumiantes dependerá directamente de qué parte de la planta sea consumida (Casler, 2000). El tallo es el menos digestible porque tiene un contenido alto de celulosa y hemicelulosa respecto a las hojas, porque es donde se requiere mayor rigidez celular dadas las funciones de soporte que desarrolla; esta diferencia es más contrastante en los forrajes tropicales donde la diferencia nutricional entre hojas y tallos ha derivado en la selección de especies forrajeras con una proporción de hojas mayor a la del tallo (Grabber y col., 2004); también debe considerarse que el clima donde se desarrollan las especies forrajeras es determinante en la biosíntesis de la pared celular; en general los pastos tropicales tienen mayor contenido de celulosa en las hojas comparado con las especies en clima templado, lo que explica que los pastos tropicales son menos nutritivos. Los pastos en general pueden entrar en un estado de latencia de acuerdo con la estación o adelantar la producción de inflorescencia y semillas según las condiciones agroclimatológicas, lo que significa una predominancia de tallos sobre las hojas y que las cantidades de celulosa serán mayores en los tallos durante las épocas de temperaturas extremas, sequía o en suelos de baja fertilidad (Hodgson, 1990).

Algunos materiales vegetales se digieren poco debido a la alta proporción de fibra lignificada (Nielsen, 1995). Además, no todos los vegetales se consumen porque pueden tener muy pocas proteínas o sustancias químicas tóxicas que dificultan y dañan a los animales. Hay poco más de 10,000 metabolitos secundarios en las plantas y las tres principales categorías de metabolitos secundarios de defensa son los fenólicos, los alcaloides, y los terpenos. Los compuestos de defensa adicional incluyen productos primarios como proteínas y aminoácidos tóxicos, inhibidores de proteasas, y compuestos cianogénicos. Además, los taninos desnaturalizan algunas enzimas digestivas y los terpenoides ejercen un efecto antimicrobiano en el rumen, lo cual altera considerablemente el valor nutricional de los pastos (May y col., 1996). Los compuestos fenólicos, como los taninos, consisten químicamente de un anillo aromático con un grupo hidroxilo unido, -OHL, y están en altas concentra-

ciones en las vacuolas celulares de Fabaceae, Fagaceae, Mirtaceae, y Poligonaceae. Otro grupo fenólico está conformado por ligninas que se encuentran en las paredes celulares, dando fuerza estructural a la planta y proporcionando una barrera contra el ataque de herbívoros y patógenos (Baldwin y col., 1983). Los ciclos de vida de ciertos mamíferos folívoros (que se alimentan de hojas) surgieron bajo la presión selectiva de estas sustancias que disminuyen la digestibilidad y son las responsables de que las plantas (forrajes) tengan un escaso contenido energético. Los herbívoros que prefieren consumir las hojas de los árboles y arbustos (ramoneadores), como las cabras, se alimentan principalmente de las hojas más suaves, jóvenes y nutritivas (jóvenes) y evitan las hojas más viejas que contienen esos compuestos secundarios que limitan su valor nutritivo (p.e. taninos). El pastoreo moderado puede ser un efecto estimulante para los pastos y aumenta la producción de biomasa joven, pero en detrimento del vigor y de nutrientes almacenados en las raíces, por lo cual el pastoreo de partes jóvenes debe regularse o conducirá a la pérdida de la vegetación (Hodgson, 1990), es por esta razón que la ganadería mal planificada o con tiempos de pastoreo largos ha sido asociada a la pérdida de la biodiversidad; situación que la ganadería moderna ha tratado de revertir a través de la implementación de prácticas y sistemas de pastoreo más amigables con el ambiente, como labores culturales que no desnuden el suelo, el uso de biofertilizantes o la combinación de árboles con pastos forrajeros que promuevan la conservación del suelo y la retención de agua.

1.5 Conclusiones

La carne ha formado parte importante de la evolución humana, siendo el cerebro la mejor evidencia de que ha contribuido positivamente para el ser humano de la actualidad. Los inicios de la agricultura en este planeta están directamente relacionados con los procesos evolutivos de la humanidad, resulta injusto no recordar estos orígenes y darles el valor que tienen para nuestra actualidad. La proteína de origen animal jugó un papel central en la evolución de los primeros primates que fueron el origen del linaje humano contemporáneo.

Bibliografía

Agüero, C. (2005). Aproximación al asentamiento humano temprano en los oasis de San Pedro de Atacama. *Estudios Atacameños* 30: 29-60.

Baldwin, R, y M Alison (1983). Rumen metabolism. *Journal of Animal Science*, 1983: 461-477.

Bennet, John. (1964). Attitudes towards animals and nature in a Great Plains community. *Plains Anthropol* 9, n° 23: 37-47.

Bollongino, R, C Edwards, K Alt, y J Burger. (2006). Early history of European domestic cattle as revealed by ancient DNA. *Biol Lett.* 2, n° 1: 155-159.

Bollongino, Ruth, Joachim Burger, Adam Powell, Marjan Mashkour, y Jean Vigne. (2012). Modern Taurine Cattle Descended from Small Number of Near-Eastern Founder. *Miol. Biol. Evol* 29, n° 9: 2101-2104.

Brito, L., A.E. Silva, M.M. Unanian, M.A. Dode, R.T. Barbosa y J.P Kastelic. (2004). Sexual developmente in early and late maturing *Bos indicus* and *Bos indicus* - *Bos taurus* crossbred bulls in Brazil. *Theriogenology*, 62: 1198-1217

Buck, Laura, Colette Berbesque, Brian Wood, y Chris Stringer. (2016). Tropical forager gastrophagy and its implications for extinct hominin diets. *Journal of Archaeological Science: Reports* 5: 672-679.

Cai, Dawei, Naifan Zhang, Siqi Zhi, Quanjia Chen, y Lixin Wang. (2018). Ancient DNA reveals evidence of abundant aurochs (*Bos primigenius*) in Neolithic Northeast China. *Journal of Archaeological Science* 98: 72-80.

Carvalho, Susana, Dora Biro, Eugenia Cunha, Kimberley Hockings, y William Mc Grew. (2012). Chimpanzee carrying behavior and the origins of human bipedality. *Current Biology* 22, n° 6.

Casler, M. (2000). *Advances in Agronomy*. Academic Press, 51-104.

Castro, Álvaro. (1984). *Producción Bovina*. EUNED.

Comisión Internacional de Nomenclatura Zoológica. (2009) *Código Internacional de Nomenclatura Zoológica*. 4. Londres: International Trust for zoological nomenclature.

Duarte, Marcos, Jandy Hanna, Evandro Sanches, Qing Liu, y Dorothy Fragazsy. (2012). Kinematics of bipedal locomotion while carrying a load in the arms

in bearded capuchin monkeys (*Sapajus libidinosus*). *Journal of Human Evolution* 63: 851-858.

Felius, M, P Koolmees, y B Theunissen. (2011). On the Breeds of Cattle - Historic and Current Classifications. *Diversity* 3: 660-692.

Giusti, Juliana, Eduardo Castan, Maeli Del Pai, Mario Arrigone, y Samira Rodrigues. (2013). Expression of genes related to quality of Longissimus dorsi muscle meat in Nellore (*Bos indicus*) and Canchim (5/8 *Bos taurus* × 3/8 *Bos indicus*) cattle. *Meat Science* 94, n° 2: 247-252.

Grabber, J.H, J Ralph, C Lapierre, y Y Barrière. (2004). Genetic and molecular basis of grass cell-wall degradability. I. Lignin-cell wall matrix interactions. *Comptes Rendus Biologies*, 455-465.

Grigson, Caroline. (1978). The craniology and relationships of four species of *Bos*: 4. The Relationship between *Bos primigenius* Boj. and *B. taurus* L. and its implications for the Phylogeny of the Domestic Breeds. *Journal of Archaeological Science* 5: 123-152.

Hewes, G W. (1961). Food transport and the origins of hominid bipedalism. *Am. Antropol.* 63: 687-710.

Hodgson, J. (1990) *Grazing management: science into practice*. Inglaterra: Longland scientific and technical.

Jiménez, P. (2014). Efecto de los días de engorda, tipo racial y edad de los animales sobre la calidad organoléptica y composición de la carne de bovinos en México. [Tesis de maestría]. Ciudad de México (MX). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Lordkipanidze, D. (2017). The History of Early Homo. En *On human nature*, editado por Georgian National Museum, 45-54. Georgia: Academic Press.

Mann, N J. (2018). A brief history of meat in the human diet and current health implications *Meat Sci.* 14: 169-179.

Martínez, Bienvenido, y Rivka Rabinovich. (2011). The fossil Bovidae (*Artiodactyla*, *Mammalia*) from Gesher Benot Ya'aqov, Israel: Out of Africa

during the Early-Middle Pleistocene transition. *Journal of Human Evolution* 60: 375-386.

May, P, U Ojeda, M Gamboa, L Borgez, y F Escalante. (1996). Metabolitos bioactivos producidos por hongos y plantas. *Latinoamericana de Química*, 162-169.

Nielsen, C. (1995). *Animal evolution*. EEUUAA: Oxford University.

Peterson, Alexandria, Elicia Abella, Frederick Grine, Mark Teaford, y Peter Ungar. (2018). Microwear textures of *Australopithecus africanus* and *Paranthropus robustus* molars in relation to paleoenvironment and diet. *Journal of Human Evolution* 119: 42-63.

Pruetz, Jill, y Nicole Herzog. (2017). Savanna Chimpanzees at Fongoli, Senegal, Navigate a Fire Landscape. *Current Anthropology* 58: 337-350.

Pruetz, Jill, y Thomas Laduke. (2010). Brief Communication: Reaction to Fire by Savanna Chimpanzees (*Pan troglodytes verus*) at Fongoli, Senegal: Conceptualization of "Fire Behavior" and the Case for a Chimpanzee Model. *AMERICAN JOURNAL OF PHYSICAL ANTHROPOLOGY* 58: 1-5.

Schafberg, H.R, y H Swalve. (2015). The history of breeding for polled cattle. *Livestock Science* 179: 54-70.

Schibler, J, J Elsner, y A Schmlumbaum. (2014). Incorporation of aurochs into cattle herd in Neolithic Europe: single event or breeding. *Sci. Rep.* 4, n° 2014: 57-98.

Speth, John. (1989). Early hominid hunting and scavenging: the role of meat as an energy source. *Journal of Human Evolution* 18, n° 4: 329-343.

Stahlschmidt, Mareike, Christopher Miller, Bertrand Ligouis, Ulrich Hambach, y Paul Goldberg. (2015). On the evidence for human use and control of fire at Schoningen. *Journal of Human Evolution* 89: 181-201.

Thompson, Philip. (1975). A behavior model for *Australopithecus africanus*. *Journal of Human Evolution* 5, n° 6: 547-558.

Whipple, G, M Koohmaraie, M.E Dikeman, J.D Crouse, M.C Hunt, y R.D Kemn. (1990). Evaluation of attributes that affect longissimus muscle tenderness in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. *Journal of Animal Science*, 597-607.

Capítulo 2.

La producción de carne

Juan Manuel Vargas Romero

2.1 Introducción

Actualmente son muchos los recursos zootécnicos dedicados a proveer de carne para el consumo humano, desde pollos, pavos, conejos y codornices hasta cerdos, borregos, chivos y bovinos. En general se pueden reconocer dos sistemas de producción, independientemente de la especie de la que se trate, el sistema “estabulado” en donde permanecen los animales en confinamiento y el sistema de “pastoreo” en el que los animales permanecen con mayor libertad de movimiento. Entre estos dos sistemas mixtos (parcial pastoreo y estabulado) hay un par de diferencias sustanciales, el bienestar animal y los ingredientes utilizados en la engorda de los animales.

2.2. Sistemas de Alimentación

Los sistemas de alimentación en realidad son el resultado del sistema de producción; es decir, los sistemas estabulados utilizarán cereales mayoritariamente y los sistemas de pastoreo utilizarán forrajes.

2.2.1 *Sistemas de pastoreo*

Los sistemas de producción en pastoreo, también denominados como extensivos, son aquellos que por su ubicación geográfica recurren al uso de forrajes como el principal insumo en la producción de carne (más del 60% de la dieta). En México el pastoreo es para etapas iniciales de producción de bovino sobre todo en el trópico, los animales permanecen sobre las praderas y se alimentan directamente de las plantas que ahí crecen de manera natural (especies propias de la zona) o inducida (especies mejoradas genéticamente), utilizan principalmente animales rumiantes, aunque las tendencias del mercado han modificado esta tendencia y ahora es común observar a cerdos, gallinas y algunos otros animales no rumiantes en este tipo de sistemas (Callejas y col., 2017, Castro y col., 2019)

En estos sistemas los indicadores productivos son bajos, además de que los ingresos obtenidos por los productos que ofrecen representan una parte muy pequeña del valor que alcanzan estos cuando finalmente llegan al consumidor. En estos sistemas es importante atender las limitaciones tecnológicas, administrativas y de integración, antes que intentar revertir la

disminución en población y producción; este tipo de producción se desarrolla principalmente en las zonas que dependen de la precipitación pluvial exclusivamente, conocidas como “zonas de temporal”, que han perdurado por muchos años bajo circunstancias muy difíciles, dictadas en gran medida por la inclemencia del clima, la baja calidad de los suelos y la orografía con pendientes que facilitan la erosión. Contribuyendo a las dificultades y al empobrecimiento de este sector se suma la existencia de una estructura poblacional con limitadas capacidades tecnológicas y de gestión. Este tipo de sistemas, requiere de grandes espacios y considerar la utilización de un buen modelo de pastoreo que ayude a controlar los tiempos de pastoreo y descanso en la pradera de una manera adecuada, lo que podría ocasionar periodos de engorda más largos. Cuando no hay un buen manejo en el pastoreo, y que además se proporcionen plantas con más de 40 días de reposo, se rompe con la calidad de los pastos originando un bajo aprovechamiento por el animal, lo que supone un cambio en los estándares internacionales de calidad y preferencias de consumo, esto significa un gran reto para la industria de la carne mundial (Martínez y col., 2012, Suárez y col., 2012).

Estos sistemas de producción utilizan razas no especializadas, principalmente cruza de las razas cebú, criollo y Pardo Suizo, en la producción de carne, por lo regular cruzamientos poco definidos o heterogéneos, lo que condiciona la calidad del producto final (Castro et al., 2019).

2.2.2 Sistemas estabulados

En contraparte, los sistemas estabulados, también conocidos como intensivos, utilizan principalmente los cereales y pastas de oleaginosas, y sólo una parte de su dieta es compuesta por forrajes (menos del 50%); en estos sistemas se ofrece a los animales dietas con altos contenidos de proteína y de energía, que a su vez están relacionados con mejores ganancias de peso en relación al ganado en pastoreo y tiempos de engorda cortos; (Baez y Endara, 2001); la carne que se obtiene en sistemas de pastoreo es de diferente calidad a la que se obtiene en estabulación total con raciones altas en granos. El uso de estos cereales y oleaginosas resulta caro, puesto que requiere de instalaciones y personal especializado, así que estos sistemas tienen como objetivo principal realizar la engorda animal en el menor tiempo posible, y para lograrlo necesitan incorporar vitaminas, minerales y algunos aditivos

a las dietas. Dependiendo del balance entre las proteínas, la energía y los minerales, es posible determinar el tiempo de la engorda, el peso final del animal y la calidad de carne que se obtendrá al final del proceso (Martínez et al.,2012).

La tendencia actual y los patrones de consumo han reorientado a los productores en la búsqueda de alternativas más amigables con el ambiente y a mantener a los animales en “libertad”, por lo que las jaulas y los corrales pequeños están cayendo en desuso en los países más avanzados.

Dadas las condiciones financieras tan apremiantes de estos sistemas, tienen que utilizar razas de animales especializados en la producción de carne, o en su caso, cruzamientos cuyos resultados estén comprobados en campo; para alcanzar los indicadores productivos mínimos y una calidad constante del producto final.

2.3 Disposición de los residuos

En ambos sistemas de producción, el impacto ambiental es objeto de estudios orientados a la adopción de tecnologías que lo mitiguen. Uno de los principales problemas es el manejo inadecuado de las excretas, los sistemas de producción de animales en estabulación, ocasionan graves desequilibrios ecológicos durante muchos años, debido al olor, transmisión de gérmenes patógenos y sobre todo la contaminación de aguas subterráneas y de superficie, así como del suelo agrícola. Estos problemas fueron originados por la manera en que se disponía de las excretas, por ejemplo: 1) vertiéndolas directamente en cuerpos naturales de agua, en donde la descomposición de la materia orgánica demanda cantidades elevadas de oxígeno, limitando con esto, la vida en los cuerpos de agua. Además, si se considera que las excretas contienen cantidades importantes de nitrógeno, fósforo y potasio, el resultado será la proliferación de algas que disminuirán la captación de rayos solares hacia el fondo de la masa acuática en cuestión, con la posterior eutrofización del agua; y 2) la acumulación de las excretas sobre el suelo en terrenos con una superficie reducida, donde la degradación de la materia orgánica depende de la temperatura ambiental y de la cantidad de microorganismos en el suelo, cuando sucede armónicamente, el residuo se-

rán los elementos minerales de las excretas y serán de alta disponibilidad para las plantas; sin embargo, cuando la deposición de excretas es excesiva se produce la saturación del suelo, por consiguiente los elementos (principalmente N y P) que deberían haber sido aprovechados por las plantas, son arrastrados hacia los estratos inferiores del suelo (lixiviación), en donde al alcanzar los acuíferos subterráneos, provocan también la eutroficación.

Dada la gravedad de estas prácticas, las leyes internacionales han sido modificadas desde hace varios años y por esa razón, en México en el año 1988 se promulgó la Ley General de Equilibrio Ecológico, en donde se estableció la responsabilidad de la entonces “Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca”. Para prohibir las descargas de excretas y aguas residuales de las granjas y otros tipos de industrias, en redes colectoras y cuerpos de agua receptores; por esta ley se encuentran controladas las descargas de origen pecuario, como lo marca el artículo 120 del capítulo III, título IV, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente. Así mismo se encuentran reguladas las descargas hacia los suelos, como lo indica el artículo 136 del capítulo IV, título IV, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente (Secretaría del Medio Ambiente, 2001).

Actualmente las grandes empresas agropecuarias realizan la separación de sólidos y líquidos de las excretas; los sólidos resultantes se pueden utilizar como fertilizante, sustrato para biodigestores, sustrato para lombricomposta o ingrediente para la alimentación animal (sometidos a varios tratamientos previos que eliminen los agentes patógenos)

2.4 La nutrición animal en la producción de carne

La nutrición es un factor fundamental en la producción de carne, si se considera que más del 70% de los costos de producción son derivados de la alimentación (Núñez, 2017), además el balance de los diferentes nutrientes determinará la calidad de carne que llegará al mercado y su inocuidad.

2.4.1. Nutrientes involucrados

2.4.1.1 Las proteínas

El término Proteína, deriva del griego protos (primero o más importante). Las proteínas se componen de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, y son las encargadas de expresar la información genética, la formación de las estructuras del organismo, transportar moléculas y forman parte de casi todos los procesos metabólicos. Las proteínas, son en realidad, cadenas tri-dimensionales de aminoácidos con secuencias específicas (Luque, 2005).

Las proteínas contenidas en los alimentos del animal, en aminoácidos, que serán absorbidos y llevados al hígado por vía sanguínea, para después ser utilizados en la síntesis y de ahí serán repartidas al resto de tejidos para producir proteínas corporales (músculos, órganos y piel). Cuando la demanda de proteínas no es cubierta, se observará un crecimiento lento y afectará la formación de tejido muscular, teniendo menor cantidad de carne. Las necesidades de proteína y aminoácidos irán cambiando a lo largo de la vida productiva del animal, siendo mayor cuando el animal es pequeño y menor cuando se acerque a su etapa adulta (Marotta y col., 2009).

Por lo tanto, la cantidad total de proteína contenida en una dieta no es tan importante como el correcto nivel de aminoácidos aportado (Carmona y col., 2020), si el animal recibe todos los aminoácidos que necesita y existe equilibrio entre ellos, los índices productivos, como ganancia de peso, rendimiento en canal y calidad de carne, serán positivos. Hay aminoácidos no esenciales, que serán sintetizados por el propio animal y por lo tanto no es importante aportarlos en la dieta; pero existen los aminoácidos esenciales, los cuales no serán producidos por el animal y se vuelve indispensable su aporte a través del alimento (Cirera, 2016); los aminoácidos esenciales más importantes son lisina (Lys), treonina (Thr), metionina (Met), triptófano (Trp), valina (Val), isoleucina (Ile), leucina (Leu), histidina (His), fenilalanina (Phe) y tirosina (Tyr); esta condición metabólica es particularmente importante en los animales no rumiantes, puesto que en los rumiantes, las bacterias ruminales son las encargadas de sintetizar las proteínas con un contenido de aminoácidos muy cercano al ideal; por esta razón los aminoácidos sintéticos (lisina y metionina) se han vuelto una parte importante en

la elaboración de los alimentos para los animales no rumiantes, muchas veces el contenido de estos dos aminoácidos son la principal limitante en la producción de cerdos, pollos y pavos (Nogueira y col., 2012).

En los forrajes, las leguminosas son la principal fuente de proteínas, como la alfalfa, los tréboles, el cacahuate forrajero o las mimosas; mientras que los cereales que más aporte proteínico poseen son las pastas de las oleaginosas, como la soya, ajonjolí o canola. También se utilizan ingredientes de origen animal, como las harinas de pescado, además de subproductos de la leche, plasma porcino y subproductos avícolas.

2.4.1.2 La energía

El suministro de energía es otro de los limitantes en la producción animal, que estará involucrado no solo en lograr los índices productivos satisfactorios, sino en obtener la calidad de la carne deseada en los diferentes sistemas de producción. Por lo regular los ingredientes que aportan este nutriente son los cereales como los granos del maíz, sorgo, avena, cebada, trigo, críticale y centeno; y las gramíneas (forrajes) como los pastos estrella, pangola, mulato, ballico, festuca y lo esquilmos agrícolas (pajas obtenidas post cosecha). Otro tipo de ingredientes que son ampliamente utilizados en la ganadería son los derivados de las grasas y los aceites, porque aportan hasta tres veces más energía que los granos de cereales.

Los alimentos energéticos, proveen al animal las calorías necesarias para realizar algún trabajo en específico, desde respirar hasta reproducirse; sin embargo, la diferencia entre los diferentes alimentos no es sólo la cantidad de calorías aportadas, sino la manera en la que se reparte esta energía, es decir, la energía será fraccionada dentro del animal, destinándose a procesos de mantenimiento, producción y pérdidas.

La energía total contenida en un alimento se conoce como Energía Bruta y será utilizada en función de las condiciones propias del alimento y del metabolismo del animal.

Características del alimento: la digestibilidad del alimento influirá directamente en la proporción energética que será ingresada al organismo animal, aquella energía que sea consumida pero que no logre ingresar al

cuerpo, será desechada en las heces; por lo regular un grano de cereales es aprovechado (digestible) entre un 70 y 90%, mientras que un forraje maduro no rebasa el 50%; la energía total del alimento (Energía Bruta) menos la fracción no aprovechada y eliminada en heces, se denomina Energía Digestible.

Características del metabolismo animal: una vez que la energía logró ser movilizada al interior del animal, su uso y destino dependerá primordialmente de las rutas metabólicas que el animal active; es decir, una raza de animal especializada en la producción de carne, destinará la mayor parte de la energía a procesos involucrados con el desarrollo y crecimiento de la masa muscular, mientras que una raza especializada en la producción de leche, la canalizará a la glándula mamaria. Ahora, de la energía que logró entrar al organismo animal, no toda será destinada a procesos productivos o de mantenimiento, se estima que entre la formación de metano (en los rumiantes) y la orina se perderá cerca del 18% de la Energía Digestible; esta energía residual es la Energía Metabolizable, que será destinada a los procesos de mantenimiento y producción. Por último, la Energía Metabolizable sufrirá pérdidas por incremento calórico y procesos respiratorios (entre 40 y 80%) y sólo el resto será destinado a la producción de carne, leche, pelo o a la reproducción del animal; estas últimas fracciones se denominan Energía Neta y representan las verdaderas cantidades destinadas a la producción.

Este fraccionamiento de la energía, es una de las principales causas de que la producción de carne sea poco eficiente y cuyos precios al mercado sean relativamente altos, la cantidad de alimento que se requiere para producir un kilogramo de peso vivo de algún animal se denomina Conversión Alimenticia y su valor es un factor que determina el precio final de la carne al mercado; por ejemplo, para producir un kilogramo de pollo vivo, se requieren de 1.6 Kg de alimento balanceado, pero para producir el mismo kilogramo de peso vivo en un bovino de engorda se requieren 7 Kg de alimento.

El nivel de energía de la ración ofrecida al ganado afecta a los diferentes aspectos sensoriales de la carne, de modo que dietas ricas en carbohidratos incrementan el contenido de grasa tanto de cobertura de la canal como la cantidad de grasa que se encuentra entre las fibras musculares (marmoleo). El incremento de grasa en la carne se relaciona con un incremento de la jugosidad, una mejoría en la sensación de ternura, así como un incremento

de la intensidad de sabor y aroma. Dado que en la fracción grasa de la carne residen los compuestos responsables del aroma específico de la carne (Legako y col., 2015).

2.4.1.3 Las vitaminas

Las vitaminas son suministradas de diversas maneras en los animales, a través del alimento, parenteralmente (inyecciones) o en el agua de bebida. El principal problema de las vitaminas en la producción animal es su interacción y eventual desnaturalización al interactuar con el alimento o factores ambientales. Se trata de sustancias orgánicas ocupadas en funciones metabólicas específicas, también son determinantes en el desarrollo del sistema inmune y en la protección de la oxidación de las células por radicales libres. De acuerdo a su solubilidad se dividen en dos grupos: hidrosolubles y liposolubles.

Las proteínas hidrosolubles están generalmente involucradas en el aumento en la velocidad de las reacciones fisiológicas (catálisis), si no se encuentran en cantidades suficientes habrá consecuencias en el sistema nervioso y sistema inmune, estas vitaminas son del complejo B (tiamina, riboflavina, niacina, ácido pantoténico, piridoxina, biotina, ácido fólico, cobalamina) y la vitamina C (ácido ascórbico).

Las vitaminas liposolubles se absorben a través de las micelas y los quilomicrones, se almacenan en el hígado y tejido adiposo; sus principales funciones son la actividad antioxidante y la producción de células y sustancias químicas del sistema inmune, incluye el grupo de vitamina A, D, E y la K (Waldron 2013). Gran número de estudios demuestran que la falta de vitaminas en la dieta tiene efectos en el sistema inmune, afectando la resistencia a las enfermedades, producción de inmunoglobulinas y mediadores de la inflamación como prostaglandinas E2 (Campos y col., 2015).

2.4.1.4 Los minerales

Los minerales son suministrados en el alimento y en situaciones especiales son provistos al animal en inyecciones y en el agua de bebida. Su importancia radica en que a pesar de constituir con solo 4-5% del peso vivo del animal, están involucrados en importantes procesos metabólicos actuando

como cofactores, lo que implica que, aunque sean requeridos en cantidades micrométricas, su deficiencia será evidente macroscópicamente. Son 21 elementos inorgánicos los reconocidos dentro de este grupo y entre las funciones más reconocidas está la formación de huesos y la utilización eficiente de los nutrientes como la proteína y los AA.

Se clasifican en dos grupos principales: micro y macro minerales. Los macrominerales son aquellos que son utilizados en grandes cantidades (gramos) y deben de administrarse todos los días; estos macrominerales son: calcio, fósforo, magnesio, potasio, sodio, cloro y azufre. Los microminerales son los de menor consumo (microgramos), y están involucrados en reacciones enzimáticas o metabólicas muy específicas; algunos de estos microminerales son: hierro, selenio, cobre, cromo, zinc y manganeso (Campos y col., 2015).

El balance de estos minerales en las dietas de los animales requiere especial cuidado porque su déficit complicaría los procesos metabólicos enzimáticos reguladores de la formación de ADN y procesos de inmunidad; pero su exceso de pueden causar toxicidad y muerte súbita (Carbajal, 2002).

2.5 El bienestar animal en la producción de carne

Uno de los principales estudiosos de la etología (ciencia encargada del estudio del comportamiento animal), ha establecido que la primera condición para abordar los estudios sobre el comportamiento animal, es el distanciamiento entre los humanos y los animales para consumo, es decir, no es correcto equiparar los comportamientos animales con los sentimientos humanos.

Durante muchos años, algunas prácticas productivas no consideraron el bienestar animal como prioritario y fue necesario revisar los esquemas productivos en donde se pudiera proveer a los animales destinados al consumo humano, condiciones necesarias para lograr su bienestar.

Uno de los primeros autores en definir al Bienestar Animal fue Broom (1986), señalando que es el estado de un individuo con relación a sus intentos por afrontar su ambiente. Ahora, un animal podría enfrentar exitosamente las adversidades del ambiente al que es expuesto siempre y cuando sus funciones fisiológicas y sociales sean satisfechas; si estas necesidades

están cubiertas entonces su comportamiento en cautiverio debería de ser muy parecido al que tendría en su hábitat original; entonces, los animales tienen necesidades biológicas y son un requisito para obtener un recurso particular o responder a un ambiente particular o a un estímulo corporal (Broom y col., 2004). Por estas razones, los sistemas actuales de producción de carne pretenden proveer de los sustratos suficientes para que los animales puedan expresar sus conductas sociales, higiénicas, alimentarias y reproductivas sin dificultad. Cuando el animal no puede expresar adecuadamente estas conductas, se sentirá amenazado y seguramente se encontrará en estado de “estrés”.

El estrés es la respuesta del organismo animal, cuando las demandas ambientales exceden su capacidad de respuesta frente a los estímulos (estresores) que son impredecibles e incontrolables para él (Koolhaas y col., 2011). De acuerdo con la duración y sus efectos, el estrés puede ser agudo (transitorio) o crónico (de largo efecto) (Trevisi y Bertoni, 2009). Cuando el animal se encuentra en un estado de estrés, se activan dos sistemas: el eje simpático-adrenomedular (SNS) y el eje hipotálamo-hipofisis-adrenal (HHA) (Tilbrook y col., 2000). El primero activa la liberación de catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) que ayudan a los individuos a movilizar rápidamente fuentes de energía y cubrir los requerimientos para lograr una reacción de huida o lucha (Dantzer y col., 1983); estas catecolaminas actúan con los glucocorticoides para aumentar la disponibilidad de glucosa a través de su acción glucogenolítica (Reece, 2004). Por otro lado, la activación del eje hipotálamo-hipofisis-adrenal (HHA), involucra la liberación de la hormona liberadora de corticotropina (CRH) y neuronas secretoras de la arginina vasopresina (AVP), que estimulan la liberación de la hormona adrenocorticotropina (ACTH) de la hipofisis y viaja a través del torrente sanguíneo hasta la glándula adrenal, donde estimula la síntesis y secreción de glucocorticoides (cortisol y corticosterona).

La activación de ambos complejos (SNS y HHA) tiene consecuencias negativas sobre la salud, producción y reproducción del animal; la CRH ejerce profundos efectos negativos sobre el eje reproductivo, inhibiendo la secreción de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) hipotalámica; mientras que los glucocorticoides adrenales inhiben la liberación de hormona luteinizante (LH) en la hipofisis y la secreción de esteroides gonadales

(Mastorakos y col., 2006), además de estar relacionados directamente con la disminución de los linfocitos T, eosinófilos e histamina liberada por los basófilos, la adherencia, capacidad fagocitaria y citotoxicidad de los monocitos-macrófagos, lo que representa una inmunosupresión que compromete drásticamente la vida del animal.

El efecto del estrés crónico, agota las reservas de glucógeno muscular y disminuye la formación de ácido láctico, motivo por el cual el pH después de la matanza permanece alto (≥ 5.8) (Amtmann y col., 2006), en un animal sano y descansado, el nivel de glucógeno muscular es alto (75 - 120 mmol/Kg), pero puede descender a valores críticos (45 - 57 mmol/Kg), y aún así se puede alcanzar un pH en la canal con un valor entre 5.6 y 5.8, el cual se considera como óptimo para el proceso de maduración de la carne (Immonen y Puolanne, 2000).

2.6 Factores estresores en la producción animal

La sobrepoblación en los corrales de engorda es el principal estresor. Diferentes estudios han demostrado que se elevan los niveles de cortisol y las conductas de agresión entre los animales, al competir y no tener espacio de huida (Vas y col., 2013). El hacinamiento puede generar desestabilización de la jerarquía social y provocar la agresividad, al no permitirle al animal expresar adecuadamente sus conductas e interacciones sociales normales (Andersen y col., 2008).

Los espacios inadecuados o las malas prácticas de producción que no proporcionan las cantidades óptimas de alimento y agua al animal, también son considerados como estresores. El agua es un requisito sine qua non para la producción animal, su restricción, aun siendo temporal, disminuye el consumo de alimento, ocasiona el decremento de la digestión de los alimentos y de la eliminación de residuos no digeridos y la excreción de productos de desecho metabólico. Con la disminución del consumo de alimento disminuye la ganancia de peso y el crecimiento (Abioja y col., 2010).

Otro estresor que condiciona la producción animal es el transporte de los animales al rastro, diversos autores han documentado las consecuencias negativas de un transporte inadecuado, como la pérdida de peso corporal

además de los cambios endocrinos característicos de la respuesta de estrés (Kannan y col., 2003, Andersen y col., 2008); cuando el vehículo, el operario o las condiciones ambientales del transporte son deficientes aumentará la temperatura corporal, la frecuencia cardiaca y la frecuencia respiratoria y disminuirán la capacidad de respuesta inmunológicas (Zhong y col., 2011), la concentración de cortisol se duplicará a lo largo de dos horas de transporte (Waas y col., 1999) y la disminución de las reservas de glucógeno muscular afectará la calidad de la carne. Durante muchos años, esta parte de la producción animal fue descuidada debido a que los animales eran transportados al rastro y ya no se consideraba importante; sin embargo, el cuidado animal y la demanda de productos cárnicos de calidad han obligado a realizar los estudios que permitan implementar nuevas prácticas de producción.

Las prácticas actuales consideran el bienestar animal desde el momento en el que los animales suben al vehículo que los transportará al rastro. El arreo de los animales deberá de ser libre de gritos y golpes por parte de los operarios, no deberá requerir de grandes esfuerzos físicos por parte del animal para subir y bajar del vehículo, además de permitirle mantenerse de pie durante el viaje y hasta llegar al destino. El tiempo de transporte prolongado ocasiona pérdidas de peso (1.5 a 9%), las caídas y golpes representan pérdidas económicas por eliminación de tejido maltratado, menor rendimiento en canal y disminución de la calidad de carne (Gallo, 2008)

Los valores disminuidos de glucógeno, se asocian a largos tiempos de transporte (Edge y col., 2009), elevado tiempo de espera en el rastro, alta actividad física, fatiga y traumatismos (Minka y col., 2009). Las consecuencias de estas prácticas serán los decomisos en rastro y diversas anormalidades en la carne, que serán abordadas más adelante, como carne Pálida Suave y Exudativa o la carne Obscura Firme y Seca,

2.7 Matanza Animal

Sin duda, la matanza animal y las situaciones que lo rodean han adquirido especial relevancia por parte de la sociedad y los profesionales de la zootecnia. Los estudios y aplicaciones al respecto han sido analizadas desde diferentes perspectivas y su influencia ha sido un factor fundamental en el entendimiento de la zootecnia moderna. Analizar el maltrato animal, su

influencia en la calidad de los productos agropecuarios y desterrar las prácticas obsoletas e inadmisibles hoy en día, se han vuelto actividades cotidianas para los profesionales del sector agropecuario.

La matanza animal se puede dividir en 3 procedimientos: Inmovilización, desangrado y muerte, los cuales deberán de ser rápidos, precisos y homogéneos, para que se pueda garantizar una muerte digna y sin maltrato para el animal que proveerá de alimento al ser humano.

2.7.1 Traslado

El movimiento de los animales hacia la sala de matanza deberá ser silenciosa, cómoda y no deberá requerir de golpes, gritos o castigos para que los animales caminen, Grandin (1985) recomienda que los pasillos de traslado sean cerrados y sin sombras, para evitar que el ganado se distraiga con personas, camiones u otros objetos fuera de la manga, que percibe con su visión periférica; los pasillos deberán de ser curvos y con una salida iluminada al final, así el operario no tendrá la necesidad de golpear o gritar al animal para que camine y con ello causar estrés. Las mangas etológicas consisten en diseños curvos y con la prácticamente nula intervención del ser humano para el arreo del ganado (Grandin, 1985).

El pasillo deberá de conducir directamente a un cajón que no permita el retorno del animal y que mantenga libre su cabeza mientras se ejerce un poco de presión sobre el resto del cuerpo, para aminorar el estrés animal.

En bovinos, ovinos y caprinos el cajón de aturdimiento es el método más común para inmovilizarlos, el piso será antiderrapante y permitirá que el operario se aproxime libre y rápidamente a la cabeza del animal. En cerdos el cajón de aturdimiento también es ampliamente utilizado, puede ser utilizado para varios animales al mismo tiempo, cuando el método de aturdimiento sea eléctrico. En el caso de las aves, son sujetadas de las patas y colocadas en una banda de transporte automática, su inmovilización no requiere del cajón.

2.7.2 Aturdimiento

Una vez que el animal no puede moverse, se realiza el aturdimiento, que consiste en provocar la inconciencia del animal a través de la destrucción

parcial del cerebro (por golpe o electricidad) o por hipoxia (gas). Sólo estos métodos garantizan que el animal pierda la conciencia, sienta dolor y pueda moverse; el método de puntilla, puntilla española o descabelle donde el cuchillo se usa para cortar la médula espinal a través del foramen mágnium entre el cráneo y el cuello es una práctica cruenta y prohibida, debido a que el animal continúa conciente y puede percibir todo lo que sucede a su alrededor mientras es desangrado; otro método que debería de ser discontinuado es el desnucado en los conejos, quienes de igual manera sólo son inmovilizados pero no aturdidos por esta práctica arcaica.

2.7.2.1 Perno cautivo

El aturdimiento por este método, consiste en provocar un daño irreversible al cerebro con una pistola que dispara un cartucho de foguero, empujando un pequeño perno metálico por el cañón que puede producir una conmoción o incrementar la presión intracraneal, al causar un hematoma. Este método se utiliza en ganado vacuno, porcino, ovino y caprino, además de caballos y búfalos. Una vez hecha la inversión inicial, sus costos de operación son mínimos, por lo que es el método preferido en los países en vías de desarrollo. Aunque puede parecer que el aturdimiento por perno cautivo es un procedimiento sencillo, se debe tener cuidado y atención en su manejo, ya que tanto un error del operario como un fallo del equipo, comprometerán el bienestar del animal, por lo que es crucial dar mantenimiento regular y exhaustivo al equipo.

2.7.2.2 Choque eléctrico

Este método consiste en someter al animal a una descarga eléctrica de duración e intensidad claramente establecidos por la normatividad internacional, derivada de las investigaciones que garantizan que el animal alcanzará el estado de inconciencia rápidamente y sin daños físicos evidentes. El aturdimiento eléctrico induce un estado epiléptico en el cerebro, que debe durar lo suficiente para realizar el posterior desangrado que ocasione la muerte. El método consiste en aplicar una corriente alterna de bajo voltaje a través de dos electrodos colocados en ambos lados del cerebro, por medio de unas tenazas; debido a que el cerebro de los animales es pequeño, los electrodos se deben colocar con precisión y sostenerse firmemente. Con este método,

se corre el riesgo de que el animal recupere la conciencia y pueda sentir dolor mientras se realiza el desangrado, por lo que es necesario realizar el desangrado inmediatamente después del choque eléctrico; por esta razón es recomendable el uso de un tercer electrodo en alguna otra parte del cuerpo, para inducir un paro cardíaco instantáneo, la colocación de los electrodos nunca deberá de ser en los ojos, orejas ni en el recto. Este método es el más recomendado para cerdos, ovinos, caprinos y aves de corral.

Algunos profesionistas, realizan una mala e irresponsable copia de este método y someten a los animales a un mayor maltrato y deterioro de los productos finales, por no observar los puntos de colocación de los electrodos y los tiempos e intensidades recomendadas internacionalmente. Para los cerdos se recomienda una descarga eléctrica de 1.25 Amp y 125 Volts durante 10 segundos máximo; en los ovinos y caprinos 1.1 Amp y 100 Volts durante 10 segundos máximo; y en pollos 2 Amp y 60 Volts durante 5 segundos máximo (Gregory, 2005).

2.7.2.3 *Uso de gas*

El uso de gases para lograr la inconciencia del animal requiere de equipos de alto costo y relativamente sofisticados, por ello no ha sido adoptado ampliamente su uso en los rastros del mundo, se basa en el empleo de diferentes concentraciones de dióxido de carbono (CO₂), se recomienda una saturación en el aire del 80% durante 45 segundos en cerdos; y 60% durante 15 segundos en las aves. Su uso ha sido cuestionado en algunos biotipos de cerdos con gran musculatura y por ello se están evaluando otros gases como el Argón (Marcon y col., 2019).

2.7.2.4 *Aturdimiento correcto*

Cuando el animal es aturdido por medio de la pistola de perno cautivo se desploma inmediatamente, la respiración rítmica debe de suspenderse y no debe haber ningún reflejo de la córnea ni de parpadeo al tocar el ojo. Si el método utilizado fue el choque eléctrico, entonces se presentarán espasmos rígidos que pueden durar hasta 30 segundos, sólo hasta después de este tiempo se podrá evaluar el aturdimiento del animal (Terlow y col., 2016).

Independientemente del método utilizado, si este fue aplicado correctamente, los animales no deberán emitir ningún tipo de sonido vocal (chillidos, mugidos o rugidos); sin embargo, es normal observar reflejos de patadas en un animal bien aturdido con electricidad o perno cautivo; también puede existir jadeo, siempre y cuando la lengua se encuentre totalmente flácida y sin ningún tipo de movimiento o enroscada. Aunque el animal tenga reflejos de patear, su cabeza y cuello deben de estar totalmente flácidos, de lo contrario es signo de dolor y maltrato, por lo que deberá de aplicarse nuevamente el método de inmediato. La cabeza y el cuello son las partes más importantes en la evaluación del aturdimiento, el resto del cuerpo puede ser ignorado.

La primera fase (tónica), cuando la corriente fluye por el cerebro, el animal cae colapsado y deja de respirar, con las patas delanteras extendidas y rígidas y las patas traseras flexionadas hacia el cuerpo. En la segunda fase (clónica) el animal se relaja y comienza a dar patadas involuntarias con las cuatro patas, movimiento hacia debajo de los globos oculares y micción o defecación (HSA, 2013).

2.7.3 Desangrado

El objetivo del desangrado, es cortar rápidamente los grandes vasos sanguíneos para impedir que la sangre siga fluyendo hacia el cerebro, provocando su muerte por anoxia. Se utiliza un cuchillo puntiagudo y filoso que garantice una incisión rápida y precisa. Para impedir que el animal recupere la conciencia, se debe desangrar lo antes posible después del aturdimiento (en los primeros 15 segundos), mientras aún se encuentra en la fase tónica (rigidez). El desangrado consiste en las arterias carótidas y las venas yugulares o los vasos sanguíneos de los que surgen. Es importante cortar todos los principales vasos sanguíneos porque si solo se corta una arteria carótida, el animal puede tardar más de un minuto en morir.

En los bovinos, la incisión se realiza en el surco de la yugular en la base del cuello; para los ovinos y caprinos el corte puede ser por detrás de la garganta o en la depresión antes del esternón y levantar la piel con la punta del cuchillo usando una ligera presión y haciendo un movimiento de elevación para cortar los vasos sanguíneos. Para los cerdos, el cuchillo deberá cortar

ambas arterias carótidas y venas yugulares, es decir un corte atravesando la garganta. El caso de las aves es diferente, puesto que el corte deberá realizarse dentro de los próximos 15 segundos o se corre el riesgo de que el ave recupere la conciencia. El corte del cuello debe sesgar ambas arterias carótidas o los vasos de los que surgen

Es importante que el tiempo transcurrido entre el aturdimiento y el desangrado no rebase los 15 segundos, porque además de que el animal puede recuperar la conciencia, aumentará la presión sanguínea y la ruptura de vasos, produciéndose hemorragias musculares, que ocasionarán una carne de mala calidad y con una vida de anaquel considerablemente menor.

En algunas culturas aún se practican y son permitidos los rituales de matanza animal que no evitan su maltrato, como los realizados para obtener los alimentos Kasher y Halal, en donde se realiza el desangrado con el animal en plena conciencia; sin embargo, en prácticamente todos los países de mundo existen regulaciones que obligan a los rastros a lograr una inmovilización libre de maltrato y posteriormente un aturdimiento inmediato y efectivo, en México el cumplimiento de estas regulaciones es obligatoria y resulta inadmisibles que algunos profesionistas (no profesionales) sigan realizando las prácticas antiquísimas y cruentas que son poco éticas y hasta ilegales.

2.8 Selección genética

Contrario a lo que cree la mayoría de las personas que no son especialistas en estos temas, los tiempos de engorda cortos y altos rendimientos cárnicos de los animales domésticos, se deben principalmente a la selección y mejoramiento genético y no al uso de hormonas, antibióticos o algún otro fármaco. Mucho ha evolucionado la selección genética en los últimos 50 años, debido a que los productores ya no basan su mejoramiento genético en características fenotípicas (lo que se puede observar) sino que ahora utilizan herramientas genómicas que garantizan una mayor tasa de éxito en la selección de los mejores animales para la producción cárnica en el mundo. Desde la antigüedad, el hombre ha seleccionado y mejorado especies vegetales y animales basándose en el fenotipo, las mejoras genéticas eran exitosas en función de la variabilidad genética de la población y de la here-

dabilidad del carácter que se quería aislar; sin embargo, quedaban muchos aspectos desconocidos, como el número y efecto de los genes implicados en la expresión de ese carácter seleccionado, la localización de estos genes y su función fisiológica. Este tipo de selección carecía de objetividad, pero sobre todo son marcadores imprecisos debido a las influencias ambientales (Martin, 2000). En la actualidad la selección genética utiliza marcadores moleculares, que son biomoléculas que se pueden relacionar con un rasgo genético (carácter productivo), estas biomoléculas son algunas proteínas (antígenos e isoenzimas) y fragmentos de ADN (genes conocidos o fragmentos de estos con función desconocida). La importancia de los marcadores de ADN radica en que ofrecen la posibilidad de estudiar poblaciones de organismos y seleccionar aquellos que presentan rasgos de interés para el hombre. En ocasiones, el uso de marcadores permite seleccionar a los individuos aun antes de que expresen el rasgo de interés, lo que es muy valioso en la selección animal porque es posible saber si un ejemplar tendrá alguna característica productiva desde el momento del nacimiento y no se tendría que esperar a que crezca y alcance la edad productiva para conocer los resultados de la selección genética. Gracias al empleo de marcadores ha sido posible mejorar muchas especies que son la base de la alimentación del mundo. Los marcadores de ADN constituyen la nueva generación de marcadores moleculares, actualmente existen varias técnicas para identificar marcadores de ADN, pero se pueden clasificar en tres grandes grupos: 1) hibridación tipo Southern, 2) reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y 3) la combinación de ambas.

La hibridación tipo Southern explora las variaciones en la longitud o tamaño de los fragmentos de ADN ocasionadas por la restricción del genoma mediada por una enzima particular (endonucleasa). Esta técnica comprende las siguientes etapas: primero se extrae el ADN del material de estudio; luego se le adicionan enzimas de restricción (endonucleasas), las cuales cortan el ADN en fragmentos de diferente longitud; estos fragmentos son separados en geles de agarosa, para después realizar por capilaridad o al vacío la transferencia de los fragmentos a una membrana de papel de nitrocelulosa o de nylon (transferencia tipo Southern). Finalmente, se hibridizan los fragmentos de la membrana con sondas marcadas (radiactiva o no radiactivamente) para visualizar y detectar las bandas hibridadas (Nuez y col., 2000).

Dentro de esta técnica se encuentran los marcadores RFLP (polimorfismo de la longitud de los fragmentos de restricción) y los VNTR (secuencias adyacentes que se repiten en número variable) (Cornide, 2002).

La técnica de PCR, o reacción en cadena de la polimerasa, es una tecnología utilizada para multiplicar (sintetizar) *in vitro* fragmentos específicos de ADN con la finalidad de detectar una secuencia o gen de interés en el genoma del individuo en estudio. Se basa en la amplificación de fragmentos de ADN a partir de secuencias de nucleótidos denominadas “cebador” (primer), que son capaces de reconocer una secuencia blanco para la cual es complementaria (Mullis y Faloona 1987).

En forma general, los principales pasos del PCR son los siguientes: se extrae el ADN del material a analizar, se separa la molécula del ADN en dos hebras (desnaturalización), se induce el alineamiento o reconocimiento del cebador con las secuencias blanco complementarias o molde del ADN, y por medio de la enzima Taq polimerasa se lleva a cabo la extensión o alargamiento de la molécula iniciadora (cebador). Este proceso se realiza en un termociclador, que se encarga de realizar los cambios de temperatura necesarios para que se desarrollen las etapas o ciclos anteriormente mencionados. Los ciclos se repiten la cantidad de veces que sea necesario, hasta obtener la cantidad de copias de ADN que se requieran (Saiki y col., 1988).

Dentro de esta metodología se encuentran los marcadores llamados RAPD (ADN polimórfico amplificado al azar), PCR iniciada con microsatélites (MP-PCR), AFLP (polimorfismo de longitud de fragmentos amplificados y DAF (amplificación de huellas del ADN), entre otros (Vos y col., 1995).

Finalmente, dentro de las metodologías que combinan la PCR o sus productos de ADN más la hibridación tipo Southern, están los RAHM y RAMPO (amplificación aleatoria del polimorfismo de microsatélites).

2.8.1 Técnicas de detección de polimorfismo genético

La selección genética, en el sector pecuario, se basa en encontrar la variabilidad de genes; es decir, aquel o aquellos genes que están involucrados en una característica productiva y que aunque están presentes en todos los individuos de una población, no todos se comportan de la misma manera (ganancia de peso, por ejemplo), lo que supone que ese gen (o genes)

tienen un efecto diferente, estos son conocidos como genes polimórficos o polimorfismo genético, por lo tanto los investigadores buscan genes (y su polimorfismo) que estén involucrados en la producción como causa de los índices productivos sobresalientes. Esta variabilidad genética es un atributo que no puede ser exhaustivamente medido, puesto que es muy difícil estudiar cada gen en cada individuo de una especie para obtener una lista completa de la variación genética de la especie; sin embargo, si se toma una muestra de una población es posible estimar su variabilidad genética (Ayala 1984), al utilizar un carácter o marcador que propicie la medición de dicha variabilidad. Los polimorfismos detectados en el ADN están ocasionados por diferencias en cuanto al número de determinadas regiones no codificantes, que se encuentran dispersas en el genoma (regiones repetidas) o por mutaciones puntuales (Cornide, 2002); la identificación y selección de estos animales dedicados a la producción ha ocasionado que actualmente se hayan disminuido los periodos de engorda, se eficiente el uso de los alimentos, las enfermedades hayan disminuido, entre otros beneficios cualitativos y cuantitativos.

2.8.2 Aplicaciones de la identificación genética

Generalmente las expresiones genéticas no son dependientes de un solo gen o región, por lo cual es necesario caracterizar las diferentes regiones o genes involucrados en la expresión genotípica cuantificable, lo que se conoce como QTL (loci de rasgos cuantitativos o cuantificables) (Bendixen y col., 2005). Después de conocer los marcadores moleculares involucrados y determinar que una población los posee, se podrán seguir observando diferencias en la intensidad de la expresión genética. Esto significa que hay diferencias incluso dentro de los mismos marcadores, por lo cual un marcador molecular puede ser monomórfico (invariable entre los individuos) o polimórfico (diferencias en el peso molecular de la misma región) (Zhang, 2013).

Se han detectado genes que codifican para características de importancia exónómica en los animales domésticos productores de carne, con ellos se podría establecer un mapa de huellas de selección que ayuden a comprender mejor la arquitectura de las características productivas. En estos estudios se espera que existan señales comunes, dado que algunos objetivos de

reproducción son constantes en todas las especies de ganado. Por ejemplo, se ha realizado un escaneo del genoma en ovinos con polimorfismo de un solo nucleótido o SNP (Single Nucleotide Polymorphism) en busca de señales de selección y reveló 31 regiones que contienen genes para: la pigmentación del pelaje (MITF, ASIP y KIT); la morfología esquelética y el tamaño corporal (NPR2, HMGA2 y BMP2, RXFP2); y el crecimiento y la reproducción (PRLR y TSHR) (Kijas y col., 2012)

En ganado bovino de la raza Charolais y Limousine, se descubrieron algunos genes que se relacionan con la terneza, estos fueron los genes de la calpastatina (CAST) y de μ -calpaína (CAPN1) además está el gen de la Calpaína (CAPN1), que tiene tres y cuatro SNPs asociados a este rasgo; esto significa que los animales de esta raza pueden ser seleccionados en función de la presencia o no de estos genes (Allais y col., 2011).

Otro gen relacionado a la terneza es el gen de la Tiroglobulina (TG) y cuyo análisis de secuencia (región de 548 nucleótidos) alberga sitios polimórficos asociados con marmoleado en ganado de engorda con 15 SNPs en bovinos y 8 en búfalos (Praveen y col., 2014). También, se han realizado estudios en las regiones cromosómicas que permiten identificar las variaciones de ADN que afectan los rasgos del porcentaje de grasa intramuscular y la terneza de la carne medida como fuerza máxima de corte en razas puras (Angus, Murray Gray, Shorthorn, Hereford, Brahman, Santa Gertrudis y Belmont Red) y se observaron 75 SNP significativos (Bolormaa y col., 2011).

Otros genes asociados a la grasa intramuscular son los que codifican a proteínas involucradas en la síntesis y almacenamiento de triacilglicéridos y ácidos grasos en el músculo, en este contexto se ha reportado un conjunto de genes (CIDEA, THRSP, ACSM1, DGAT2 y FABP4) correlacionados con el porcentaje de grasa intramuscular que se pueden utilizar para ovinos y bovinos. De manera similar se realizaron estudios con cerdo Laiwu (raza de cerdo graso autóctono distribuido en el norte de China) e identificaron los genes relacionados con la biosíntesis de lípidos (FOSL1, FAM213B y G0S2), factores de transcripción (EGR1, KLF5, SREBF2, TP53 y TWIST1) y se detectaron genes relevantes para la biosíntesis de grasas (FASN, PVALB, ID2, SH3, PXD2B y EGR) y estos muestran diferencias en la metilación del ADN en el cuerpo del gen o en la región intergénica (Wang y col., 2017).

Estudios de asociación amplia del genoma que utilizan polimorfismos para bovinos, detectaron 87 SNPs con efectos significativos sobre la calidad de la carne (porcentaje de grasa intramuscular) y 127 SNP en los rasgos de la canal (rasgos de calidad en músculo longissimus y grasa de la grupa). Con el mismo tipo de estudio, en aves, se encontraron SNP asociados significativamente con el peso corporal (9 SNPs) y rasgos del crecimiento (68 SNPs); estos fueron ubicados en las regiones 71,6-80,2 Mb y 173.5-175 respectivamente (Gu y col., 2011). En estos estudios se identificaron el gen factor de unión al dominio LIM 2 (LDB2) con importancia en la regulación del peso corporal y otros autores reportaron 23 genes para 18 rasgos con significado sobre el crecimiento (Xie y col., 2012).

2.9 Conclusiones

El plano nutricional de los animales determinará la eficiencia y la calidad sensorial de la carne producida, estas actividades zootécnicas son complicadas y requieren de atención técnica especializada. El mejoramiento genético, es el verdadero impulsor de la calidad y las variables productivas con las que trabaja, el sector primario en el mundo y las técnicas de selección son lo suficientemente robustas, a tal grado que hoy en día, se cuentan con ejemplares eficientes respecto a la calidad y costos de producción.

Bibliografía

- Campos-Granados, C.M. (2015). El impacto de los micronutrientes en la inmunidad de los animales. *Nutrición Animal Tropical*, 1-23.
- Abioja, M.O, O.A Osinowo, O.A Adebambo, N.J Bello, y J.A Abiona. (2010). Water Restriction in Goats during Hot-Dry Season in the Humid Tropics: Feed Intake and Weight Gain. *Archivos de Zootecnia*, 195-203.
- Allais, S, J Laurent, L Hubert, N Duprath, y Hocquette P. (2011). Effects of polymorphisms in the calpastatin and calpain genes on meat tenderness in 3 French beef breeds. *Journal of animal science*, 1-11.
- Amtmann, V.A., C. Gallo, G. van Schaik, N. Tadich. (2006). Relaciones entre el manejo ante-mortem, variables sanguíneas indicadoras de estrés y pH de la canal en novillos. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 38(3): 259-264.
- Andersen, I.L, Roussel S, Ropstad E, Braastad BO, Steinheim G, Janczak AM, Jørgensen GM y Bøe KE. (2008). Social instability increases aggression in groups of dairy goats, but with minor consequences for the goats' growth, kid production and development. *Applied Animal Behavior Science*, 132-148.
- Ayala, F. (1984). Molecular polymorphism: How much is there and why is there so much *Developmental Genetics*, 379-391.
- Baez, R, y M Endara. (2001). Estabulación y Semiabulación de Ganado de Carne: Análisis Económico e Impacto Ambiental. *Curso de Economía de la Producción*, 24.
- Bendixen, Christian, Jakob Hedegaard, y Per Horn. (2005). Functional genomics in farm animals - Microarray analysis. *Meat Science*, 128-137.
- Bolormaa, S, L Nero, Y Zhang, R Bunch, y B Harrison. (2011). A genome-wide association study of meat and carcass traits in Australian cattle. *Animal Science*, 2010-2038.
- Broom, D.M., y A.J Zanella. (2004). Brain measures which tell us about. *Animal Welf*, 41-45.
- Callejas, N, Rebollar S, Ortega J y Domínguez J. (2017). Bio-economic parameters of intensive production of beef in Mexico *Rev. Mex. De Cien. Pecuarias*, 8 (2): <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i2.4415>

Carbajal, A.A. (2002). Manual de nutrición y dietética. Departamento de nutrición, Facultad de Farmacia, 1-33.

Carmona, P, Costa D, y Silva L. (2020). Feed efficiency and nitrogen use rankings of *Bos indicus* steers differ on low and high protein diets Anim. Feed Sci. Tec. 263 <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114493>

Castro, M, García R, Parra F, Portillo M, Marquez I y García R. (2019). El mercado de la carne de bovino en México, considerados los factores externos Rev. Agr. Soc. Desarrol, 16 (1).

Cirera, M. (2020). 3tres3.com. Comunidad Profesional Porcina. 11 de 2016. https://www.3tres3.com/articulos/la-importancia-de-la-proteina-y-los-aminoacidos-de-la-dieta-tras-el-de_37265/ (último acceso: 28 de febrero de 2020).

Cornide, M. (2002). Marcadores Moleculares: Nuevos Horizontes en la Genética y la Selección de las Plantas. Cuba: Félix Varela.

Dantzer, R, y P Mormède. (1983). Stress in farm animals: a need for reevaluation. Journal of Animal Science, 6-18.

Edge, M, y J Barnett. (2009). Development of animal welfare standards for the livestock transport industry: process, challenges, and implementation. J Vet Behav 4: 187-192.

Gallo, C.B. (2008). Using scientific evidence to inform public policy on the long distance transportation of animals in South America. Vet Ital 44, n° 1: 113-120.

Grandin, Temple. (1985). LA CONDUCTA ANIMAL Y SU IMPORTANCIA EN EL MANEJO DEL GANADO. Veterinaria Mexicana, 1-7.

Gregory, N. (2005). Recent concerns about stunning and slaughter. Meat Science, 481-491.

Gu, X, C Feng, M Song, y Y Wang. (2011). Genome-wide association study of body weight in chicken F2 resource population. PLoS.

Human Slaughter Association (HSA). (2013). Aturdimiento eléctrico de animales de carne roja The Old School, Brewhouse Hill, Wheathampstead, Herts.

Iiyama, K, T.B.T Lam, y B.A Stone. (1994). Covalent cross-links in the cell wall. *Plant Physiology*, 315-320.

Immonen K y E. Puolanne. (2000). Variation of residual glycogen-glucose concentration al ultimate pH values below 5.75. *Meat Science*, 55:279-283.

Kannan, G, T.H Terrill, y S Gelaye. (2003). Endocrine, blood metabolite, and meat quality changes in goats as influenced by short-term, preslaughter stress. *Journal of Animal Science*, 1499-1507.

Kijas, J, A Johanes, B Simon, R Laercio, y S Bertrand. (2012). Genome-wide analysis of the world's sheep breeds reveals high levels of historic mixture and strong recent selection. *PLoS*, 100-125.

Koolhaas, J.M, A Bartolomucci, B Buwalda, S.F de Boer, G Flugge, y S.M Korte. (2011). Stress Revisited: A Critical Evaluation of the Stress Concept. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 1291-1301.

Legako, J, Brooks J, Quinn T, Hagan T, Farmer L y Miller F. (2015). Consumer palatability scores and volatile beef flavor compounds of five USDA quality grades and four muscles *Meat Sci.* 100: 291-300 <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.10.026>

Luque, V. (2005). Estructura y propiedades de las proteínas . México.

Marcon, Adila, Fabiana Caldara, Geysanne Oliveira, Liliane Goncalves, y Rodrigo Garcia. (2019). Pork quality after electrical or carbon dioxide stunning at slaughter. *Meat Science*, 93-97.

Marotta, E, L Lagreca, y V Tamburini. (2009). Requerimientos alimenticios adaptados al porcino modernos y calidad de carne. *Sitio Argentino de Producción Animal*, 1-9.

Martin, M.A. (2000). *Agricultural Biotechnology: What's all the fuss about* Purdue Agricultural Economics Reports.

Martínez, C, Elzo M, Marique C y Jiménez A. (2012). Genetic parameters and breeding values for live weight using random regression models in a *Bos taurus*-*Bos indicus* multibreed cattle population in Colombia *Rev.Colomb. Cien. Pec* 25 (4) 548-565.

Mastorakos, G, M.G Pavlatou, y M Mizamtsidi. (2006). The hypothalamic-pituitary-adrenal and the hypothalamic- pituitary-gonadal axes interplay. *Pediatric Endocrinology Reviews*, 172-181.

Minka, N, y J Ayo. (2009). Physiological responses of food animals to road transportation stress. *Afr J Biotechnol* 8, n° 25: 7415-7427.

Mullis, K, y F Faloona. (1987). Specific synthesis of DNA in vitro via a polymerase catalysed chain reaction. *Methods Enzymology*, 335-350.

Nogueira, E, M Kutschenko, y S Luciano. (2012). Nutrición de aminoácidos para lechones. *Ajinomoto Animal Nutrition*, 1-14.

Núñez, Oscar. (2017). Los costos de la alimentación en la producción pecuaria J. *Selva Andina Anim. Sci.* 4 (2): 1-2.

Nuez, F, y J.M Carrillo. (2000). Los marcadores genéticos en la mejora vegetal. España: Universidad Politécnica de Valencia.

Praveen, D, G Sumit, Y Ashock, y S Bikash. (2014). Dubey, Praveen; Goyal, Sumit; Yadav, Ashok; Sahoo, Bikash; Kumari, Nimisha; Mishra, Shailendra; Niranjana, Saket; Arora, Reena; Mukesh, Manishi; Kataria, Ranjit 2014 Genetic diversity analysis of the thyroglobulin gene promoter in buffalo and other bovine. *Livestock Science*.

Reece, W. (2004). *Dukes Fisiología de los Animales Domésticos*. México: Acri-bia.

Saiki, R.K, y otros. (1988). Primer-directed enzymatic amplification of DNA with a thermostable DNA polymerase. *Science*, 487-489.

Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. (2001). *Ley General del Equilibrio Ecológico y La Protección Ambiental*. 18. Ciudad de México: Delma.

Suárez, Emiro, Reza S, Díaz E, García F, Pastrana I, Cuadrado H y Esponosa E. (2012). Effects of environmental conditions on feeding behavior in beef cattle in an intensive system in the Sinú Valley Corpoica *cienc. tecnol. agropecu.* 13 (2).

Terlow, C, C Bpurguet, y V Deiss. (2016). Consciousness, unconsciousness and death in the context of slaughter. Part I. Neurobiological mechanisms underlying stunning and killing. *Meat Science*, 133-146.

- Tilbrook, A.J, A.I Turner, y I.J Clarke. (2000). Effects of stress on reproduction in non-rodent mammals: the role of glucocorticoids and sex differences. *Reviews of Reproduction*, 105-113.
- Trevisi E, Bertoni G. (2009). Some physiological and biochemical methods for acute and chronic stress evaluation in dairy cows. *Italian Journal of Animal Science*, 8(Supp. 1): 265-286.
- Vas, J, R Chojnacki, M.F Kjoren, C Lyngwa, y I.L Andersen. (2013). Social interactions, cortisol and reproductive success of domestic goats (*Capra hircus*) subjected to different animal densities during pregnancy. *Applied Animal Behavior Science*, 117-126.
- Vos, P, y otros. (1995). AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic acids research*, 4407-4414.
- Waas, J.R, J.R Ingram, y L.R Matthews. (1999). Real-Time Physiological Responses of Red Deer to Translocations. *The Journal of Wildlife Management*, 1152-1162.
- Waldron, M. (2013). Enhancing immunity and disease resistance of dairy cows through nutrition. *Animal Science Research Center*, 10.
- Wang, Y, C Yisun, y Y Li. (2017). YunliangJiangDynamictranscriptome and DNA methylome analyses on longissimus dorsi to identify genes underlying intramuscular fat content in pigs. *Genomics* 18.
- Williams, J, A Kubelik, K Livak, y S Tingay. (1990). DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic acids research*, 6531-6535.
- Xie, L, C Luo, R Zhang, y J Tang. (2012). Genome-wide association study identified a narrow chromosome 1 region associated with chicken growth traits. *PLoS One*.
- Zhang, Wen. (2013). Development of Genome-Wide Scan for Selection Signature in. *Journal of Integrative Agriculture*, 1461-1470.
- Zhong, R.Z, H.W Liu, D.W Zhou, H.X Sun, y C.S Zhao. (2011). The Effects of Road Transportation on Physiological Responses and Meat Quality in Sheep Differing in Age. *Journal of Animal Science*, 3742-3751.

Capítulo 3.

Evaluación de canales

Juan Manuel Vargas Romero

3.1 Introducción

Después de que el animal es matado, es despojado de la piel, patas, cabeza y vísceras, esto es lo que se conoce como Canal. La clasificación de esta le brinda certeza al consumidor, sobre su calidad y características de sabor, jugosidad y suavidad; es por eso que muchos países en el mundo han implementado alguna metodología que pueda clasificar a las canales y ser una referencia para fijar precios de comercialización. La carne con mejores precios de comercialización en el mundo y sobre la que más estudios de calidad se han realizado, es la proveniente de los bovinos; razón por la cual no resulta extraño que los países que han regularizado o clasificado sus canales sea sobre esta especie.

3.2 Sistemas de evaluación en el mundo

Uno de los países que comenzó con la clasificación de canales bovinas en torno a la calidad, fue Estados Unidos de Norteamérica, quienes en 1916 a través el Departamento de Agricultura (USDA) redactó el primer estándar de clasificación de carne. Este estándar consideró los rendimientos de las canales y su clasificación para mejorar la comercialización de la carne (United States Department of Agriculture 2017).

Argentina comenzó la clasificación de canales en 1933, cuando promulgó Ley de Carnes (ley N°11.747), cuando se creó la Junta Nacional de Carnes (JNC), que era la encargada de establecer las normas de calidad para la industria cárnica. Actualmente su sistema realiza la clasificación considerando el tipo de animales, el desarrollo muscular y cobertura de grasa.

En Japón, desde 1961 se comenzó la clasificación de las canales, por la ley de estabilización de precios de productos agrícolas; pero fue hasta 1975 que se creó la Japan Meat Grading Association (JMGA). Una diferencia de esta norma, es que, a diferencia del resto del mundo, la realización de pruebas de calidad se realiza entre la sexta y séptima costilla y no entre la doceava y treceava (Japan Meat Grading Association, 2018).

Fue en 1956 cuando Uruguay publicó el primer Sistema Oficial de clasificación y tipificación de Uruguay, con las letras de la palabra ORIENTAL para clasificar las canales; pero fue hasta 1976 cuando entró en vigencia un

nuevo sistema que consideraba la conformación y cobertura grasa (Instituto Nacional de Carnes 2017).

Brasil, uno de los principales productores de carne bovina, tenía que contar con una clasificación de calidad de la carne de bovino, para lo que ordenó en 1968, que se utilizaran B, R, A, S, I y L, para designar un distintivo de calidad. Hasta 1989 se logró crear el Sistema Nacional de Tipificación de Canales Bovinas, que pretendía incentivar la engorda de animales jóvenes (Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. 1989)

Fue hasta 1981, cuando la Unión Europea determinó que debían contar con un sistema de clasificación de canales, el sistema fue denominado EU-ROP (Consejo de las Comunidades Europeas, 1981), que han considerado el sexo, edad, conformación y engrosamiento, como los principales determinantes de la calidad de la canal bovina.

Uno de los países que actualmente es referencia en la clasificación de las canales es Australia, sin embargo, fue hasta 1987 cuando la Corporación Australiana de Ganado y Carne (AMLC, por sus siglas en inglés) creó el AUS-MEAT, cuyo objetivo fue homogenizar los criterios de calidad de la carne desde su producción, hasta llegar al consumidor final (Australian Meat Industry Classification System 2020).

La clasificación de las canales y su carne implica que las preferencias de los consumidores se pueden estandarizar o por lo menos agrupar, lo que resulta muy difícil de consensuar en México, debido a las diferencias culturales de sus habitantes entre las diferentes regiones, además de que deberían considerarse las preferencias del consumidor influenciadas por las nuevas tendencias mundiales y el poder adquisitivo de la población en general. Por todos estos factores ha resultado muy difícil (casi imposible) encontrar una clasificación de la calidad de la carne para México; sin embargo, las investigaciones y las comparaciones de las canales y la carne deben de tener alguna referencia al menos; esta comparación o referencia, tradicionalmente se ha realizado con la normatividad utilizada en los Estados Unidos de Norte América; considerando esto y que la carne de bovino ha sido la más estudiada y referenciada en el mundo, vale la pena revisar los criterios generales de la clasificación estadounidense de acuerdo a la United States Standards

for Grades of Carcass Beef (2017) para conocer las características que son consideradas en la evaluación de las canales.

3.2.1 Sistema de grados de las canales en Estados Unidos de Norteamérica

Los siguientes criterios han sido actualizados y publicados por el United States Department of Agriculture (2017) en United States Standards for Grades of Carcass Beef. Esta clasificación se realiza en canales que han sido refrigeradas durante al menos 24 horas y el evaluador lo hace en cada media canal con un corte transversal profundo entre la doceava y treceava costilla, que sea lo suficientemente largo para exponer el área del músculo largo del lomo (*Longissimus dorsi*), después de haber transcurrido al menos 10 minutos después haber realizado el corte.

El sistema de grados de una canal, depende de las puntuaciones obtenidas de dos evaluaciones: 1) grado de calidad de la carne y 2) rendimiento de la canal, para que le pueda ser asignado un grado de calidad: prime, choice, select, standard, commercial, utility y cutter.

3.2.1.1 Calidad de carne

El grado de la calidad de la carne depende de sus propiedades de madurez fisiológica y marmoleo que se verán reflejadas en la jugosidad y suavidad, que son las cualidades más importantes para el mercado. Entonces, la suavidad y jugosidad se pueden establecer indirectamente por una estimación de la madurez (ósea y muscular) y la cantidad de grasa presente en el lomo.

Madurez ósea: La edad fisiológica del animal es estimada por el denominado Botón torácico, el cual es un área cartilaginosa delimitada en la parte distal de la apófisis espinosa de las vértebras torácicas que es sustituido por tejido óseo mientras el animal madura fisiológicamente, aumentando su proporción respecto al cartílago. Es importante señalar que la madurez fisiológica se refiere a la edad fisiológica del animal y no a su edad cronológica, que es el resultado de la combinación del grado de madurez muscular y ósea, por esta razón el botón torácico representa un factor determinante para su estimación. El evaluador revisa el grado de osificación en los botones torácicos 10, 11 y 12, para asignar un porcentaje que posteriormente será promediado.

Marmoleo: la cantidad de grasa intramuscular en la carne es evaluada a través del marmoleo, este término se refiere al aspecto veteado de la grasa que contrasta con las fibras musculares en la superficie de la carne; esta medición es realizada en el ojo de la chuleta que se encuentra entre la costilla 12 y 13. Los grados de saturación de grasa pueden clasificarse como: ligeramente abundante, moderado, modesto, poco, ligero, trazas y prácticamente desprovisto.

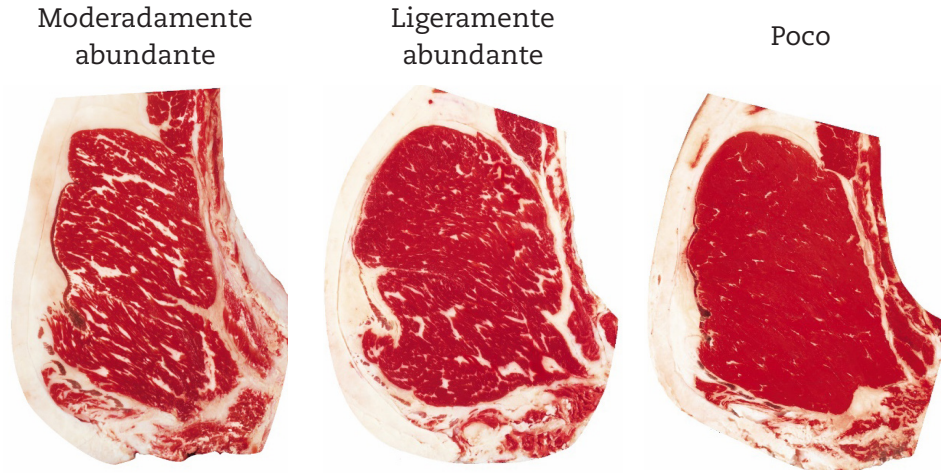


Figura 1. Grados de marmoleo en la doceava chuleta del ganado bovino.

Imágenes tomadas de <https://www.ams.usda.gov/grades-standards/beef/shields-and-marbling-pictures>

3.2.1.2 Rendimiento de la canal

Los grados de rendimiento de canales corresponden a una estimación de la cantidad relativa de carne comestible (sin hueso y con grasa recortada) que se puede obtener de ella, existen 5 grados de rendimiento (1 a 5). Para categorizar las canales se evalúan los siguientes indicadores: espesor de grasa dorsal, área del ojo de la doceava chuleta, peso de la canal caliente y porcentaje de grasa renal, pélvica y cardíaca. Los resultados de esas evaluaciones se usan como variables en una ecuación que determina el grado de rendimiento. La fórmula de cálculo de grado de rendimiento es:

$$YG = 2,5 + (2,5 \times AFT) + (0,20 \times KPH) - (0,32 \times REA) + (0,0038 \times HCW)$$

Donde:

YG: Yield grade o grado de rendimiento

AFT: fat thickness o espesor de grasa dorsal, medido en pulgadas

KPH: kidney, pelvic and heart fat percentage o porcentaje de grasa renal, pélvica y cardíaca

REA: ribeye area o área del ojo del lomo, medido en pulgadas cuadradas

HCW: hot carcass weight o peso de canal caliente, medido en libras

El espesor de grasa dorsal (AFT) se mide en un punto perpendicular al eje más largo del lomo, el porcentaje de la grasa renal, pélvica y cardíaca (KPH) se calcula en relación a su peso con el peso de la canal. El área de ojo del lomo (REA) es el área de la superficie del músculo *longissimus dorsi* entre las costillas 12 y 13. El resultado de la aplicación de la fórmula anterior se expresa en el número entero inferior. Es decir, si el cálculo indica YG = 4.8 a la canal se le otorga un YG 4.

3.2.1.3 Grado de Calidad

Con la interpretación de ambos factores calculados, se le podrá otorgar a la canal una calificación final que determinará su destino y precio dentro del mercado, siendo el grado Prime el más cotizado y apreciado por los consumidores, en contraste con las categorías Utility y Cutter, cuyo destino son los alimentos procesados para el consumo humano o para las macotas. Los grados más importantes para las canales son los siguientes:

- 1) **Prime**- es la carne producida por animales jóvenes bien alimentados que presentan un marmoleo ligeramente abundante al menos, por lo regular estas piezas son comercializadas en restaurantes especializados y a un costo alto.
- 2) **Choice**- los cortes tienen menos marmoleo y proviene sobre todo del lomo o de las costillas. Suele tener menos jugosidad y sabor que el Prime pero sigue siendo una carne apreciada.
- 3) **Select**- es más magra en relación a los dos grados anteriores con una textura más gruesa, con menor ternura y jugosidad.

- 4) **Standard y Commercial**- esta carne regularmente se ubica fuera de clasificación, el vendedor no le asignará algún tipo de garantía de calidad. Se pueden encontrar como carnes de marca propia.
- 5) **Utility y Cutter**- es la carne que se utiliza para embutidos o preparados comerciales, prácticamente no tiene marmoleado y son las carnes de precio más accesible. Su comercialización suele ser a nivel industrial.

Grado de Marmoleo	Madurez				
	Ganado Joven		Ganado Maduro		
	A 9-30 meses	B 30-42 meses	C 42-72 meses	D 72-96 meses	E >96 meses
Abundante					
Moderadamente Abundante	PRIME				
Ligeramente Abundante				COMMERCIAL	
Moderado					
Modesto	CHOICE				
Poco					
Ligero	SELECT			UTILITY	
Vestigios	STANDARD				
Casi Excento				CUTTER	

Clasificación de las canales de acuerdo al United States Standards for Grades of Carcass Beef (2017)

3.3 Razas involucradas en la producción de carne

En las razas utilizadas para la producción de carne, el objetivo principal es que el animal engorde rápidamente con la menor cantidad de alimento, hay que recordar que esta eficiencia se ha logrado gracias a los avances en los estudios de la genética zootecnista; cuando se ha conseguido el primer objetivo, se buscarán animales de una línea genética que presente rendimientos en canal altos y que la calidad de su carne sea lo más cercano a las exigencias del mercado al que está destinado, como cantidad de grasa, suavidad, color, textura, entre otras.

En las tendencias actuales del mercado, cada vez es menos común encontrar Unidades de Producción Pecuaria que utilicen razas puras en los

procesos de finalización (engorda); gracias a los descubrimientos y al constante cambio en las preferencias del consumidor, las empresas utilizan razas híbridas, que son el resultado de los cruzamientos de dos o más razas puras claramente identificadas; pero también existen en el mercado grandes empresas dedicadas al mejoramiento genético que realizan una serie de múltiples cruzamientos que dan origen a líneas genéticas que son patentadas y que pocas veces o casi nunca se conocerá la procedencia genética de ese animal comercial destinado a procesos específicos dentro de la cadena de valor de la carne.

En el siguiente cuadro se muestran los diferentes pesos al mercado y la edad de matanza de las especies domésticas más importantes para el mercado internacional de la carne.

Cuadro 2. Pesos al mercado de las diferentes especies cárnicas domésticas

Especie	Peso de matanza kg	Edad de matanza	Rendimiento en canal %
Ovinos	45-60	6-8 meses	50-55
Caprinos	40-55	6-8 meses	48-53
Porcinos	95-105	6 meses	77-85
Bovinos	450-600	14-18 meses	57-62
Pollos	2.3-2.7	6 semanas	70-75

3.3.1 Bovino

Las razas de bovinos que se utilizan en México obedecen principalmente a motivos de adaptabilidad ambiental, más que a características productivas asociadas a la calidad; de manera general se distinguen tres esquemas de producción de carne en México: la utilización de razas puras europeas en climas templados, el empleo de razas cebuinas en el trópico y la producción con base a los cruzamientos de estos dos grupos genéticos en todo el territorio nacional.

Sin embargo, los resultados son altamente contrastantes, si se considera que las engordas de ganado europeo se realizan casi siempre en estabulación total con dietas altas en cereales y que obtienen carne de buena calidad para destinarla a mercados que pueden pagar un precio diferencial; a

diferencias de las canales producidas en los sistemas de pastoreo en clima tropical primordialmente (Ramírez y col., 2018).

Las razas cebuinas que se utilizan son: Brahman, Nelore, Indobrasil y Gyr; mientras que los europeos comúnmente utilizados son: Angus, Pardo Suizo europeo, Hereford, Limousin y Salers.

3.3.2 Ovino

En la engorda de borregos se requiere contar con animales que lleguen al mercado antes de los 6 meses de edad y con un peso vivo de 40 kg, que es la demanda promedio del mercado (Sen y col., 2004). Para lograr estos objetivos son utilizados dos tipos de borregos (Partida y col., 2017): los de pelo, que están adaptados a condiciones rústicas en zonas tropicales, pero que la calidad de su carne y rendimiento en canal no es sobresaliente (Pelo- Katahdin, Pelibuey, Dorper, Black Belly); y las razas de lana, adaptadas a un clima templado-frío con mejores ganancias de peso y canales con mejores rendimientos (Rambouillet, Suffolk, Charolais, Texel, Dorset, Hampshire).

3.3.3 Caprino

En el caso de los caprinos destinados a la carne, son marginales, si se comparan con las otras especies pecuarias, sin embargo, la producción caprina es de suma importancia entre los productores en los estados áridos y semiáridos de México, quienes cuentan con diversas opciones de mercado, puesto que se consumen animales muy jóvenes (15 días) y de hasta un año de edad, en su mayoría; aunque las exigencias del mercado no son tan altas en comparación con el mercado ovino (Basinger y col., 2019). Las razas que predominan en México son tendientes a cubrir el mercado de la leche (Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg) aunque existen, en menor medida, razas especializadas en la engorda (Murciana Granadina y Boer) (Jimenez y col., 2013).

3.3.4 Porcinos y aves

En el caso de estas dos especies en particular, el mercado está dominado por empresas especializadas en la producción de líneas comerciales que son resultado de rigurosos y complejos esquemas de cruzamientos que garanti-

zan algún carácter productivo sobresaliente en los ejemplares comercializados; sin embargo presentan un inconveniente para los productores: los hijos de estos animales no tendrán el mismo potencial productivo que los padres adquiridos en las empresas comercializadoras, lo que garantiza un mercado cautivo durante muchos años para estas empresas.

En el caso de los cerdos, el mercado ahora exige carne magra (sin grasa), por lo que sus cruzamientos están enfocados en esta condición (Lowell y col., 2019); sin embargo, estas líneas comerciales derivan de razas ancestrales como los cerdos blancos (Landrance y Yorkshire), que se caracterizan por una mejor habilidad materna (mayor cantidad de lechones nacidos, destetados y producción de leche); y de las razas oscuras que muestran mejor velocidad de crecimiento y características de la canal ideales para el mercado actual (Duroc, Hampshire y Pietrain).

En el mercado de los pollos de engorda sucede lo mismo, existen empresas ultraespecializadas en la reproducción de estos animales y mantienen un nivel productivo constante en las Unidades de Producción a cambio de contar con los clientes cautivos. Se utilizan los pollos provenientes de madres de cuerpo macizo, con abundante plumaje y cuya producción de huevo es baja, estas razas son conocidas como “pesadas”, aunque la industria avícola también suele usar ejemplares que resultan de la cruce de esta raza pesada con las razas ligeras (especializadas en producción de huevo). Independientemente de las líneas comerciales de las que se trate, parece que la mayoría derivan de la White Leghorn, Plymouth Rock, New Hampshire y White Cornish. Se trata de razas que garantizan un buen ritmo de crecimiento, alta eficiencia alimenticia, alta proporción de pechuga y buena conformación corporal (Bakhshalinejad y col., 2019).

3.4 Conclusiones

Actualmente existen diferentes criterios para clasificar la calidad de la carne, desde luego que estos estarán en función de los que exija el mercado; por lo que las autoridades locales deberán de establecer los criterios que conviertan el comercio de animales en una actividad justa y equitativa, en favor del consumo de alimentos inócuos y suficientes.

Bibliografía

Australian Meat Industry Classification System. (2020). Handbook of Australian Beef Processing. Murarrie: AUS MEAT.

Bakhshalinejad, R, A Hassanabadi, y R Swick. (2019). Dietary sources and levels of selenium supplements affect growth performance, carcass yield, meat quality and tissue selenium deposition in broilers. *Animal Nutrition*, 256-263.

Basinger, K, B Shanks, J Apple, J Caldwell, y Amy Bax. (2019). Application of tension to prerigor goat carcasses to improve cooked meat tenderness. *Meat Science*, 1-5.

Harris, J, D Lunt, J Savell, y E Hawkins. (1995). Relationship between USDA and Japanese beef grades. *Meat Science*, 87-95.

Instituto Nacional de Carnes. (2017). Manual de Carnes Bovina y ovina. Montevideo: INAC.

Jimenez, Maria, Diego Braña, Jose Partida, Rosa Alfaro, Sergio Soto, y Maria Torres. (2013). Evaluacion de la calidad en la canal caprina. Ajuvhitlan, Querétaro: INIFAP.

Lowell, J, E Shunke, B harsh, E Bryan, y A Dilger. (2019). Growth performance, carcass characteristics, fresh belly quality, and commercial bacon slicing yields of growing-finishing pigs from sire lines intended for different industry applications. *Meat Science*, 96-108.

Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. (1989). Sistema Nacional de Tipicacao de Carcacas Bovinas. Brasília: MAPA.

Ramírez, R, Antonio Delgadillo, Joel Domínguez, Jorge Hidalgo. (2018). Análisis de pedigrí en la determinación de la diversidad genética de poblaciones bovinas para carne mexicanas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*9, n°4: 1-7.

Partida, Jose, Francisco Rios, Lino Cruz, Ignacio Dominguez, y Germán Buendía. (2017). Caracterización de las canales ovinas producidas en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 8, n° 3: 1-11.

Sen, A, A Santra, y A Karim. (2004). Carcass yield, composition and meat quality attributes of sheep and goat under semiarid conditions. *Meat Science*, 757-763.

United States Department of Agriculture. (2017). *United States Standards for Grades of carcass beef*. Chicago Il: United States Department of Agriculture.

Capítulo 4.

Estructura del músculo estriado

María de Lourdes Pérez Chabela

4.1 Introducción

Para hablar de la carne, es necesario conocer en primer lugar, la estructura del músculo, las proteínas que lo conforman y en donde se encuentran, el proceso de contracción relajación es algo muy importante durante la conversión del músculo, ya que una última contracción muy severa significa que la carne sea dura.

Para poder lograr una carne de una buena calidad, es necesario conocer todos los cambios bioquímicos que pasan desde el músculo hasta que se convierte finalmente en carne. Conocer cómo afecta, si se refrigera o congela la canal antes de que se haya agotado el ATP, o cómo afecta el estrés de los animales antes de la matanza en este proceso.

El tiempo de conversión de músculo a carne, es diferente en todas las especies, y debemos de conocer todos los factores que influyen y que afectan las características organolépticas de la carne.

Una de las características principales que se buscan cuando consumimos carne es que sea blanda, y para tal efecto la carne se golpea, se le pone limón, vinagre, prácticas inadecuadas para lograr este objetivo.

La maduración de la carne es el proceso mediante el cual la carne mejora sus características organolépticas como, olor, sabor, textura, esto se produce mediante el empleo de enzimas exógenas o la activación de enzimas endógenas.

4.2 Composición del Músculo

El músculo se compone, además de tejido muscular, de cantidades variables de otros tejidos como: tejido conectivo, tejido graso, tejido óseo, cartílago, tejido epitelial y nervioso. El pigmento que le da el color a los músculos es la mioglobina y se encuentra dentro del sarcoplasma.

4.2.1. Tejido Muscular

La célula del músculo se llama fibra muscular, tiene dos características principales: la primera es que son en su mayoría largas, dependiendo de lo largo del músculo y la segunda es que son multinucleadas, con todos los núcleos

en la periferia; el número de núcleos no es constante, una fibra de pocos cm de longitud puede tener cientos de núcleos con una distribución regular (Forrest y col., 1975). La fibra muscular tiene una capa que la rodea que se llama sarcolema, la cual es importante porque aquí llega el impulso nervioso para el proceso de contracción del músculo (Lawrie, 1974). Como todas las células, contiene mitocondrias que se encuentran entre las miofibrillas y cuya función es proveer de energía a la célula, también tienen retículo sarcoplásmico que interviene en el proceso de contracción liberando el calcio, el retículo sarcoplásmico es un complicado sistema de vesículas y túbulos que rodean cada miofibrilla (Price y Schweigert, 1971). El complejo de Golgi se localiza en el sarcoplasma cerca del núcleo, contiene lisosomas que son pequeñas vesículas en el sarcoplasma, los lisosomas contienen las catepsinas, enzimas proteolíticas que participan en la maduración (Forrest y col., 1975). También pueden ser observadas gotitas de lípidos cerca de las mitocondrias.

Si tomamos un pedacito de la fibra muscular y lo observamos al microscopio, pareciera que es una caja con muchas estructuras alargadas adentro (parecido a una caja con popotes) cada estructura (popote) se llama miofibrilla y cuando se observa al microscopio una de estas miofibrillas, vemos que contiene una banda oscura y luego una banda clara y esto se repite a lo largo de toda la fibra muscular. La Banda oscura se llama Banda A (anisotrópica, que no refleja la luz polarizada) y la Banda clara se llama banda I (isotrópica que refleja la luz polarizada). La banda oscura está constituida por una proteína que se llama miosina, la banda clara contiene actina. La miosina y la actina son las proteínas principales del músculo (Price y Schweigert, 1971).

La banda clara a su vez está dividida por una línea en forma de zigzag que se llama Línea Z, el espacio que se encuentra entre una línea Z y otra se llama sarcómero. El sarcómero se define, como la unidad repetitiva de la miofibrilla y está constituido por una banda oscura y 2 medias bandas claras. También es la unidad básica donde se lleva a cabo el proceso de contracción-relajación. La banda oscura está dividida por una banda clara que se llama banda H y a su vez la banda H está dividida por una línea oscura que se llama línea M. Aproximadamente, un sarcómero relajado mide 2 micras y en contracción normal 1.5 micras (Lawrie, 1974; Forrest y col., 1975; Price y

Schweigert, 1971). En la Figura 4.1 se muestra la estructura del músculo. A). El músculo. B). Fibra Muscular la cual contiene a las miofibrillas.

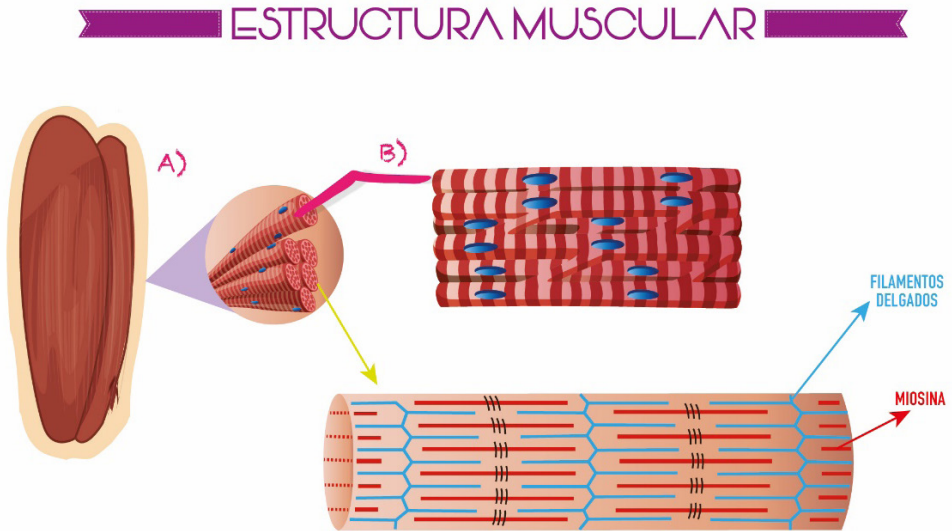


Figura 4.1 Estructura Muscular. A) Músculo. B). Fibra muscular.

4.2.2 Proteínas del músculo

Las proteínas del músculo se dividen en: Miofibrilares (solubles en sal), sarcoplásmicas (solubles en agua) y del tejido conectivo (insolubles) (Lawrie y Ledward, 2006). En la Figura 4.2 se muestra la clasificación de las proteínas del músculo.

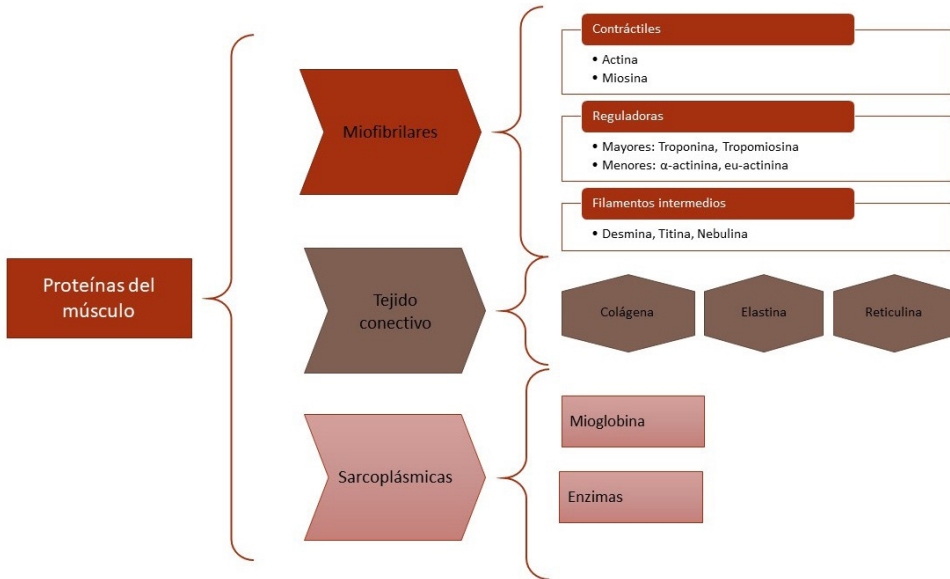


Figura 4.2 Clasificación de las proteínas del músculo.

4.2.2.1 Proteínas miofibrilares

Son las más abundantes y constituyen el 65% del total de la proteína del músculo, son las que le dan la estructura rígida al músculo y su función es importante en el proceso de contracción-relajación (Price y Schweigert, 1971). Son solubles en una concentración de sal de 0.6 M, la cual aproximadamente corresponde al 2-3% de sal que se adiciona en los productos cárnicos. Se clasifican en 3 grupos: contráctiles, reguladoras y filamentos intermediarios.

4.2.2.1.1 Proteínas contráctiles

Como su nombre lo indica, participan en el proceso de contracción-relajación. Son la miosina y la actina las cuales son las más abundantes del músculo.

La miosina es la proteína más abundante aproximadamente 50-55% de la proteína miofibrilar, tiene un peso aproximado de 500 kDa, dividido en 2 su-

bunidades: meromiosina pesada con un peso aproximado de 220 kDa cada una y la meromiosina ligera de aproximadamente 20 kDa cada una. Cada filamento contiene de 200-400 moléculas de miosina. La miosina es soluble a fuerzas iónicas de 0.3 M, es muy sensible a la temperatura y forma agregados a temperatura ambiente, la miosina de todos los vertebrados difiere muy poco en su composición de aminoácidos (Lawrie, 1974; Forrest y col., 1975; Price y Schweigert, 1971).

La actina es una proteína que constituye aproximadamente el 20-25% de la proteína miofibrilar, es esférica, tiene un peso aproximado de 42 kDa. Consta de 2 hebras enrolladas helicoidalmente, cada una compuesta de subunidades iguales. Es rica en el aminoácido prolina. Puede existir de 2 formas: G-actina que es su forma globular y la F-actina que está constituida por las unidades globulares unidas para formar una doble cadena (Lawrie y Ledward, 2006).

4.2.2.1.2 *Proteínas reguladoras*

Como su nombre lo indica, participan en la regulación del proceso de contracción-relajación. Se dividen en dos grupos: las reguladoras mayores y las menores. Las proteínas reguladoras mayores son la tropomiosina y la troponina.

La tropomiosina constituye del 8-10% de la proteína miofibrilar, es una proteína beta plegada, su peso aproximado es de 68 kDa y está compuesta de 2 cadenas de polipéptidos. Los residuos del C-terminal son isoleucina y serina, 2 grupos sulfhídricos se encuentran por molécula. Por su alto contenido de alfa-hélices es capaz de contribuir a la estabilidad mecánica de los filamentos del músculo (Price y Schweigert, 1971).

La troponina, es una proteína globular, con un peso de 78 kDa dividido en 3 subunidades: la troponina-T que se encuentra unida a la tropomiosina, la troponina C que se encuentra unida al calcio y la troponina I que se encuentra unida a la banda I de actina (Lawrie y Ledward, 2006).

Entre las proteínas reguladoras menores, existen un gran número de proteínas a las cuales no se les ha identificado una función precisa, aproxima-

damente constituyen el 1% del total de las proteínas miofibrilares. Entre estas, podemos mencionar.

- Proteínas de la línea M.- La proteína M conecta a los filamentos gruesos por su centro, la creatina cinasa ayuda a la obtención de energía y de la miomesina poco se conoce hasta el momento.
- Proteínas de la banda A.- Aunque se creía que la miosina era la única proteína de la banda A ahora se conoce que existen otras, a las cuales solo se les ha identificado con letra y un posible peso molecular. Proteína C (140 kDa); Proteína F (121 kDa); Proteína H (74 kDa); Proteína X (153kDa); Proteína I (52 kDa).

Proteínas de la línea Z.- Alfa y eu actinina con un peso de 200 y 42 kDa respectivamente. La alfa actinina tiene un contenido de prolina comparable a la actina, constituye del 2-2.5% de la proteína miofibrilar, se ha sugerido que la alfa actinina actúa como un pegamento en las líneas Z. La beta actinina es también una proteína globular que se localiza al final de los filamentos de actina se cree que su función es regular la longitud de la actina (Lawrie, 1974; Forrest y col., 1975; Price y Schweigert, 1971).

4.2.2.1.3 Filamentos intermediarios

Los filamentos intermediarios son proteínas que no se encuentran unidas a ninguna estructura, su papel principal se encuentra en el proceso de maduración. Las principales son: desmina, titina y nebulina.

La desmina está dentro de la célula muscular alrededor de los discos Z, tiene un peso de 53 kDa (Paulin y Li, 2004). La función de la desmina es mantener la arquitectura de la fibra muscular formando redes entre las miofibrillas, el sarcolema, el núcleo y la mitocondria (Rodríguez y col., 2018).

La titina también llamada conectina es una proteína gigante y la tercera más abundante después de miosina y actina. La molécula de titina mide más de 1 μm de largo. El N-terminal está situado en la línea Z y el C-terminal en la línea M. Titina tiene un componente elástico en la región de la banda I. 6 moléculas de titina están unidas a cada lado de la miosina. Una de las funciones de la titina es darle elasticidad al sarcómero (Ertbjerg y Poulanne, 2017).

La nebulina es una proteína muy insoluble, con un muy alto peso molecular aproximadamente constituye el 3-4% del total de la proteína miofibrilar. Fue descubierta por Kuan Wang en 1980. La nebulina juega un papel importante en la organización de los filamentos delgados durante la miofibrillogénesis, la nebulina es fácilmente degradada *postmortem* (Robson y col., 1991).

4.2.2.2 Proteínas del tejido conectivo

El tejido conectivo se origina al mismo tiempo que el tejido muscular es por eso que existe en gran cantidad. Tanto el tejido conectivo como el muscular provienen de las mismas células somitas que posteriormente se diferencian en los miocitos y las células del tejido conectivo. Estas proteínas le dan el soporte al animal. El músculo está rodeado de una gruesa capa de tejido conectivo que se llama epimisio: Del epimisio parten septos que engloban a las fibras musculares y se llama perimisio y la capa que rodea a las miofibrillas se llama endomisio (Lawrie, 1974).

El tejido conectivo es en gran parte responsable de la dureza de la carne. El tejido conectivo está formado por 3 proteínas: colágena, elastina y reticulina (Forrest y col., 1975).

4.2.2.2.1 Colágena

La colágena es la proteína más abundante del tejido conectivo, constituye el 20-25% del total de la proteína miofibrilar, la colágena es una glicoproteína que contiene pequeñas cantidades de 2 azúcares: galactosa y glucosa. El aminoácido más abundante que contiene es la glicina. La hidroxiprolina y la prolina, constituyen un tercio del contenido de aminoácidos de la colágena y es usada para determinar el contenido de colágena en los tejidos.

La unidad de la colágena se llama tropocolágena, la cual es una molécula larga y delgada, la colágena está formada por 3 moléculas de tropocolágena que se encuentran enrolladas entre si y unidas por puentes de lisina (Price y Schweigert, 1971).

La insolubilidad de la colágena es debida a las ligaduras intermoleculares, estas ligaduras son pocas y se rompen fácilmente en animales jóvenes, cuando la edad aumenta, el número de enlaces se incrementa y se vuelven más estables, por lo que no se pueden romper tan fácilmente, la colágena

es más soluble en animales jóvenes y menos soluble en animales viejos (Forrest y col., 1975).

Aparte de la edad, los enlaces cruzados son afectados por el grado de crecimiento, nutrición y genética. La colágena juega un papel importante en la carne cocinada, cuando la temperatura es muy alta, la colágena se convierte en un fluido que se pierde y hace la carne más blanda (Weston y col., 2002). La colágena fibrilar está compuesta de 2 fenotipos de colágena: el tipo I (60%) y el III (40%) (Purlow, 2018). Estas proporciones varían con la edad del animal, el tipo de músculo, la raza y probablemente el grado de síntesis de la colágena (McCormick, 1994). Se ha reportado un tipo IV en el endomisio.

Wang y col. (2016) investigaron como afecta el marmoleo en la dureza del músculo *Longissimus thoracis* de toros Oinchuan mediante la prueba de esfuerzo al corte. Los resultados indicaron que los cortes con marmoleo presentaron una menor dureza que los cortes que no tenían marmoleo, esto debido a la presencia de tejido conectivo.

4.2.2.2.2 Elastina

La elastina es una proteína única y difiere de la colágena y la reticulina en su composición química, naturaleza física y comportamiento (Price y Schweigert, 1971). No se degrada por calor y es altamente insoluble. Tiene un residuo cromóforo responsable del color amarillo, que le da resistencia y elasticidad a la piel, se encuentra, en gran cantidad en el musculo *Semitendinosus* y en el pabellón de la oreja. Contiene menos hidroxiprolina que la colágena. La elastina es altamente resistente a las enzimas digestivas y casi no contribuye al valor nutritivo de la carne (Lawrie, 1974; Forrest y col., 1975).

4.2.2.2.3 Reticulina

Es la proteína más escasa del tejido conectivo, se parece bioquímicamente a la colágena. Está formada por pequeñas fibras que forman redes alrededor de células, venas y estructuras nerviosas. Constituye ligamentos duros pero elásticos y flexibles. Durante el desarrollo embrionario, las fibras reticulares son las primeras en aparecer. Está asociada con el endomisio de la fibra muscular, algunos autores consideran que las fibras reticulares son una forma inmadura de fibras de colágena (Price y Schweigert, 1971).

4.2.2.3 Proteínas sarcoplásmicas

Las proteínas sarcoplásmicas son solubles en agua. Entre estas, tenemos a la mioglobina, la cual es la responsable del color de la carne y a las enzimas del ciclo de la glicólisis.

4.2.2.3.1 Mioglobina

La mioglobina es el pigmento del músculo, le confiere el color rojo y sirve como un sitio de almacenamiento del oxígeno en el músculo. El oxígeno de los pulmones es transportado por la hemoglobina en la sangre que después entra por difusión en el músculo esquelético y es unido a la mioglobina, el papel de almacenamiento de oxígeno de la mioglobina se refleja en la variación en color de los diferentes músculos (Price y Schweigert, 1971). Los músculos se clasifican en rojos o blancos. Los músculos rojos son ricos en mitocondrias y poseen fibras ricas en mioglobina, se ocupan en el músculo de forma normal, se dice que tienen un metabolismo aeróbico, es decir, son los músculos que le dan la energía al animal. Por otra parte, los músculos blancos son pobres en mitocondrias y tienen fibras con poca mioglobina y se dice que se ocupan en un metabolismo anaeróbico, es decir, solo trabajan cuando se agota la energía de los músculos rojos (Lawrie, 1974; Forrest y col. 1975). En la Tabla 4.1 se mencionan algunas diferencias entre la mioglobina y la hemoglobina.

Tabla 4.1 Diferencias entre la mioglobina y la hemoglobina

	<i>Mioglobina</i>	<i>Hemoglobina</i>
<i>Pigmento</i>	<i>Muscular</i>	<i>Sangre</i>
<i>Estructura</i>	<i>Terciaria</i>	<i>Cuaternaria</i>
<i>Peso</i>	17,800	68,000
<i>Punto isoeléctrico</i>	7.0	6.80
<i>Subunidades</i>	<i>Una</i>	<i>Cuatro</i>

Existen factores endógenos que pueden afectar el color de la carne, entre ellos podemos citar el pH, oxidación de lípidos, actividad mitocondrial, presencia de antioxidantes, también hay factores relacionados con el animal, como el manejo, la dieta y la genética (Suman y Poulson, 2013).

Yu y col. (2017) estudiaron el contenido de mioglobina en cerdos sacrificados a diferentes edades. Las edades de los cerdos fueron 35, 63, 98 y 161 días de edad (10 cerdos de cada edad). Los resultados mostraron que la mioglobina se incrementa con la edad siendo más alta a los 161 días, también reportaron que existe diferencia en la cantidad de mioglobina entre músculos, el músculo *Triceps* tiene una concentración más alta de mioglobina que el *Longissimus dorsi*.

4.2.3 Tejido graso

La grasa comprende del 18-30% del peso de la canal de toros, la grasa provee un reservorio de energía. Está compuesta principalmente de esteroides de glicerol, triglicéridos, fosfolípidos (Price y Schweigert, 1971).

El tejido graso en la canal existe en dos formas: el tejido blanco, que cubre toda la canal y el tejido marrón, que cubre los riñones. El tejido marrón se encuentra al nacimiento y a los pocos meses de vida, el color marrón de los adipocitos es debido al alto contenido de citocromos en las mitocondrias de estas células, son esféricas y más pequeñas en tamaño que las células blancas (Forrest y col., 1975).

En el músculo, hay 4 tipos de depósitos de grasa: subcutáneo, intermuscular, intramuscular e interno. A la grasa intramuscular se le conoce como marmoleo y es la grasa que le da la jugosidad a la carne.

4.2.4 Tejido óseo

Las células del tejido óseo están constituidas por una matriz extracelular calcificada a ello se debe la rigidez del esqueleto. Las funciones del tejido óseo son: suministra apoyo, rigidez y forma al cuerpo, protege a los órganos vitales como cerebro, corazón, sirve para la locomoción y es un almacén de minerales, principalmente calcio. Los huesos, primero crecen y se desarrollan como cartílago y posteriormente se osifican. Los dos principales componentes de la matriz del hueso, son la matriz orgánica y las sales inorgánicas. La matriz orgánica, consiste de una sustancia que contiene proteínas y polisacáridos, embebida en esta sustancia existen numerosas fibras de colágena. El componente inorgánico, consiste primariamente de sales de fosfato de calcio (Lawrie, 1974; Forrest y col., 1975).

4.2.4.1 *Cartílago*

Los cartílagos constituyen junto con el tejido óseo los elementos de soporte. Mucho del cartílago se convierte en hueso, pero no todo, por ejemplo, los discos articulares. El cartílago está formado por fibras de colágena y elastina embebidas en una matriz de tipo gelatinoso. Existen 3 tipos de cartílago: hialino, elástico y fibrocartílago.

El cartílago hialino es el más abundante, se encuentra rodeando a los huesos, terminaciones de costillas, etc. Es transparente y tiene tonalidad blanca azulada. El cartílago elástico es un tejido de tonalidad amarilla y está compuesto de la proteína elastina. Se encuentra en el pabellón de la oreja y en la epiglotis.

El fibrocartílago se encuentra formado por moléculas de colágena. Normalmente está en uniones de tendones con hueso (Forrest y col., 1975, Lawrie, 1974).

4.2.5 *Tejido nervioso*

El tejido nervioso constituye una pequeña proporción en el músculo, menos del 1% pero su función puede tener un papel muy importante en la calidad de la carne. El tejido nervioso se considera parte del sistema nervioso central. El sistema nervioso central consiste del cerebro y la espina dorsal, la neurona es la célula del tejido nervioso (Forrest y col., 1974). Su importancia radica en que es el responsable de que se lleve a cabo el proceso de contracción-relajación.

4.2.6 *Tejido epitelial*

El tejido epitelial es el que se encuentra en menor cantidad en el músculo. Este tejido está asociado en el cubrimiento de venas y algunos órganos como riñón e hígado (Forrest y col., 1975).

4.3 *Glucólisis postmortem*

Los organismos obtienen su energía de la respiración. El producto de la glucólisis aerobia es de 36 ATP. Cuando los animales llegan a la muerte ya no pueden obtener su energía por la respiración y entonces la glucólisis toma

un camino anaeróbico irreversible. El glucógeno es el sustrato en el músculo *antemortem* y la fuente exclusiva de carbohidratos en el músculo *postmortem*. Una molécula de glucógeno genera 2 moléculas de ATP y 2 moléculas de lactato (Chauhan y England, 2018).

La glucólisis es catalizada por la acción de un grupo de 11 enzimas muchas de las cuales ya han sido identificadas y estudiadas. Son localizadas en la porción soluble del citoplasma. Todos los intermediarios de la glucólisis, entre glucosa y piruvato son compuestos fosforilados. Hay 2 fases de la glucólisis, en la primera fase, los azúcares simples son convertidos en gliceraldehído-3 fosfato, la segunda fase es la conversión del gliceraldehído-3-fosfato en lactato, el rendimiento de la etapa 1 y 2 es 2 ATP por molécula de glucosa (Lehninger, 1981).

El pH límite que puede alcanzarse, por la acumulación del lactato es de 5.5 que corresponde al punto isoeléctrico de la miosina y actina. El tiempo que tarda la glucólisis depende la especie, normalmente se dice que bovinos tarda entre 8 a 12 horas, cerdos de 1 a 5 horas y en aves empieza a los 15 minutos después de la muerte y acaba en 1 hora.

La glucólisis pasa más rápido si la temperatura es más alta, sin embargo, puede aumentar la carga microbiana en las canales. Se recomienda que mientras que pase la glucólisis *postmortem*, la canal debe de permanecer en el lugar de la matanza aproximadamente a una temperatura de 8°C (Lawrie, 1974). Sin embargo, las reglamentaciones nacionales e internacionales no recomiendan esta temperatura debido a los problemas de contaminación microbiana que podría haber en la canal.

Otro gran problema es la temperatura del escalde en cerdos, la cual se ocupa para remover el pelo de la canal, el proceso es sumergir al cerdo en agua caliente (aproximadamente 60°C) normalmente el escalde dura de 3-5 minutos, a veces, para remover el pelo que queda después del escalde se usan flameadores de gas, por lo que todo el proceso dura aproximadamente unos 20 minutos después de la insensibilización y el desangrado, cuando la glucólisis *postmortem* está comenzando, la excesiva temperatura provoca que se lleva a cabo más rápido la glucólisis y podría haber problemas en la calidad de la carne por la desnaturalización de las proteínas (Chauhan y England, 2018).

4.4 Contracción-Relajación

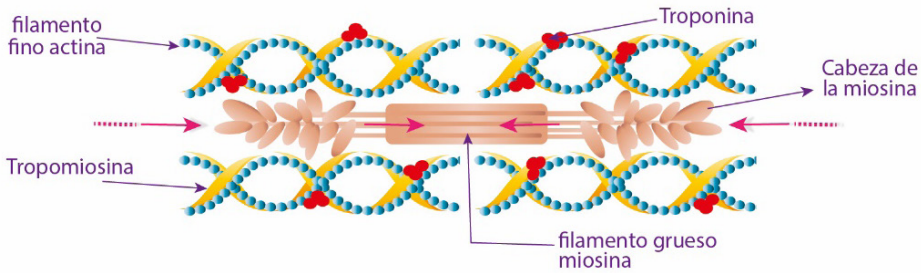
El músculo todo el tiempo, se está contrayendo y relajando. Esto pasa, porque los filamentos de actina y miosina se encuentran interdigitados y el tamaño del sarcómero varía dependiendo si este relajado o contraído. Un sarcómero relajado se dice que puede medir 2 micras y un sarcómero con una contracción normal mide 1.5 micras, a veces, en una contracción muy severa puede alcanzar 1 micra. Un sarcómero relajado, consta de una banda oscura y 2 medias bandas claras, cuando el sarcómero está contraído, se puede ver la banda oscura y las dos medias bandas claras, se encuentran traslapadas por la miosina. A la última contracción que tiene el músculo cuando ya se ha agotado el ATP, o las proteínas miofibrilares han llegado a su punto isoeléctrico, se le llama *Rigor mortis*. El proceso de contracción-relajación del músculo no es simple, en la Tabla 4.2 se enumeran los pasos en el proceso de contracción-relajación del músculo.

Tabla 4.2 Pasos en el proceso de contracción-relajación del músculo

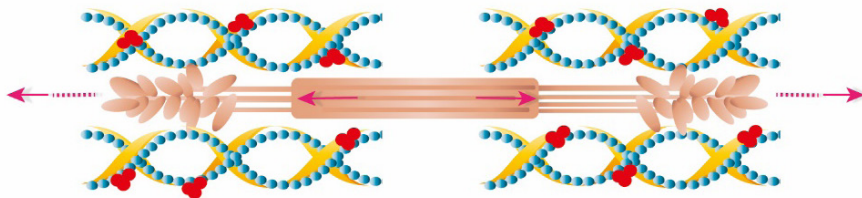
Contracción	Relajación
1.- Llega un impulso nervioso	1.- Deja de llegar el impulso nervioso.
2.- Se libera la acetilcolina de pequeñas vesículas que se encuentran en los nervios.	2.- No hay acetilcolina libre.
3.- Se despolariza el sarcolema	3.- Se polariza el sarcolema.
4.- Se liberan los iones Calcio del retículo sarcoplásmico sobre todo en la región de las líneas Z	4.- Los iones calcio vuelven a ser atrapados por el retículo sarcoplásmico
5.- Los iones calcio se unen a la troponina	5.- No hay iones calcio libres
6.- Se anula la inhibición que la troponina y la tropomiosina ejercen sobre la miosina.	6.- troponina y tropomiosina ejercen presión sobre la miosina
7.- Se rompe el complejo ATP-mg	7.- Se forma el complejo ATP-mg
8.- La miosina libre se une a la actina	8.- Miosina se separa de la actina
9.- Se forma el complejo actinmiosina	9.- Se separa el complejo actinmiosina

Adaptado de Lawrie, 1984; Forrest y col., 1975; Price y Schweigert, 1971.

En la Figura 4.3 se esquematiza el proceso de contracción-relajación, se aprecia el papel de las proteínas principales, actina y miosina, y de las reguladoras mayores, la tropomiosina y la troponina.



CONTRACCIÓN



RELAJACIÓN

Fig. 4.3 Esquema de la contracción-relajación del músculo.

4.4.1 Rigor mortis

El Rigor mortis se define como la última contracción del músculo, esto puede pasar cuando el ATP se está agotando o el pH desciende hasta el punto isoelectrónico de las proteínas miofibrilares, por la acumulación del lactato.

El Rigor mortis presenta 3 fases que son: preestablecimiento, en esta etapa el músculo es altamente flexible y se relaciona con el principio de la glucóli-

sis anaeróbica, conforme pasan las horas, el músculo se vuelve inextensible y relativamente rígido a esta fase se le conoce como establecimiento, la última etapa es cuando se acaba todo el ATP y el músculo se vuelve rígido, a esta fase se le conoce como Rigor cadavérico. La miosina y la actina quedan unidas en un complejo llamado actinmiosina y ya no se pueden volver a separar (Lawrie, 1974; Forrest y col., 1975; Price y Schweigert, 1971).

4.5 Conversión de músculo a carne

El proceso de conversión de músculo a carne, comprende desde que el animal llega al lugar de la matanza hasta que termina la glucólisis *postmortem* y se agota el ATP, algunos autores, sugieren que se debería incluir también la maduración, sin embargo, la maduración es un proceso que se da después de la conversión de músculo a carne. Una definición tradicional de carne es “carne es el músculo después de un proceso bioquímico”. El proceso bioquímico es la glucólisis *postmortem*.

Las reservas de glucógeno, hay que cuidarlas desde el rancho y hasta que llega al rastro, es conocido que la fatiga disminuye las reservas de glucógeno, el animal debe de descansar antes de poder entrar a la matanza para poder recuperar estas reservas, esto ya se encuentra establecido por las Normas Mexicanas, el tiempo de descanso depende de la especie de la que se trate. Normalmente los bovinos permanecen 12 horas en el lugar de la matanza, los cerdos 8 horas, sin embargo, en cerdos se está tratando de acortar este periodo ya que son fácilmente estresables y cuando están juntos mucho tiempo puede haber canibalismo. Estudios sugieren que el tiempo no debe ser más de 2 o 3 horas.

En la Figura 4.4 se muestra un diagrama que simplifica los pasos en el proceso de conversión de músculo a carne.

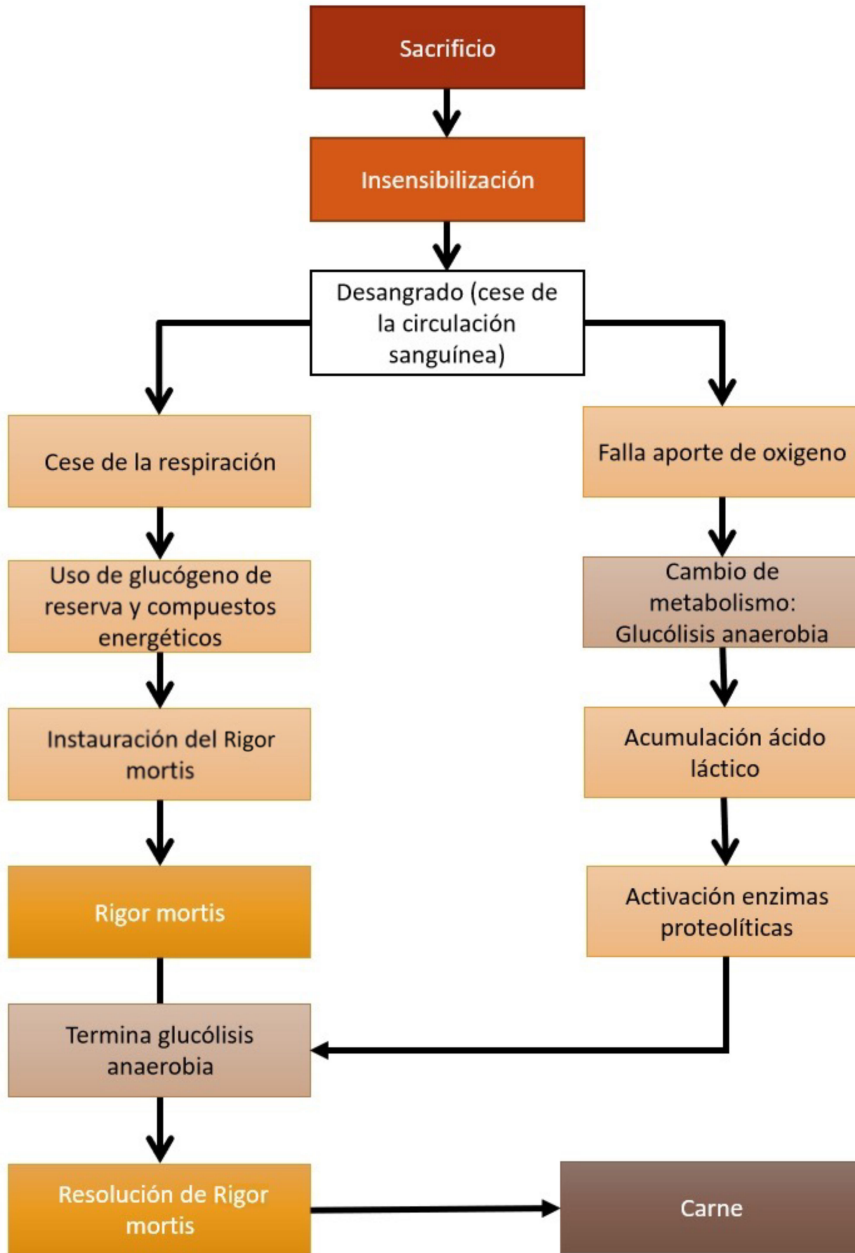


Fig. 4.4 Conversión del músculo a carne.

4.6 Maduración de la carne

La maduración se define, como el proceso que sufre la carne, durante una o dos semanas, para que adquiriera mejores características organolépticas: color, olor, sabor y textura o blandura. La maduración se debe de hacer, a temperaturas de refrigeración y en ella se llevan a cabo cambios como proteólisis, lipólisis y oxidación, estos cambios son benéficos, pero a veces le pueden dar características indeseables a la carne, puede ser con o sin vacío (Khan y col., 2016).

El ablandamiento de la carne no es algo nuevo, los aztecas trataron de ablandar la carne poniéndola en hojas de papaya. Actualmente las personas tratan de ablandarla mediante el uso de ácidos como limón, vinagre, golpeándola, etc.

La maduración es un proceso enzimático. Y las enzimas que intervienen en este proceso pueden ser exógenas y endógenas. Dentro de las exógenas tenemos a las enzimas de origen vegetal y a las de origen microbiano, y entre las endógenas se encuentran las catepsinas y las calpainas.

4.6.1 Enzimas exógenas

El uso de proteasas exógenas para mejorar la blandura de la carne se ha utilizado desde hace varios años. Las enzimas vegetales (tales como la papaína, la bromelina y la ficina) se han investigado extensamente como ablandadores de la carne (Bekhit y col., 2014). También se han utilizado las enzimas de origen microbiano, como las proteasas producidas por el género *Pseudomonas*.

4.6.1.1 Enzimas de origen vegetal

Las enzimas de origen vegetal presentan dos grandes desventajas: la primera, es que son inestables a temperaturas de 70°C (La temperatura de cocción de la carne es 72°C) y la segunda, es que producen sobreablandamiento, esto debido a que degradan a la miosina, por eso, es que su uso está restringido a pocos minutos antes de la cocción.

Ashie y col. (2006) evaluaron los efectos de la papaína sobre el ablandamiento de la carne. La blandura fue medida mediante la navaja de War-

ner-Bratzler. Los resultados mostraron, que existe un 25 a 30% de aumento en la blandura de la carne tratada con papaína, la cual no fue afectada por el pH, sales, fosfatos, frecuentemente encontrados en el procesamiento de la carne. Su efecto se inactivó a temperaturas arriba de 60°C.

Istrati (2008) evaluó la influencia de la papaína en carne de bovino. La papaína fue inyectada como salmuera en cortes de bovino 24 *postmortem*. Hubo un incremento en blandura en las carnes tratadas con papaína comparada con un control. Este experimento confirma, que la papaína es una enzima proteolítica que causa aumento en la calidad de la carne. Sin embargo, se recomienda usar la papaína en dosis bajas para evitar el sobreablandamiento y obtener carne con una estructura suave pero no pastosa.

Ketnawa y Rawdkuen (2011) investigaron el efecto ablandador del extracto de bromelina en músculos de bovino, pollo y calamar. Las muestras tratadas con bromelina, tuvieron un pH más bajo y menor humedad. A nivel estructural, las fibras se veían rotas y las membranas celulares fuertemente degradadas, las conexiones entre el sarcolema y las miofibrillas desaparecieron, por lo que concluyen que el extracto de bromelina puede ser usado como un efectivo ablandador de la carne.

Las proteasas de origen vegetal pueden afectar miosina y actina, algunos investigadores han reportado, que la colágena de bovino es degradada por bromelina. Las proteasas de las plantas son mejores que las enzimas bacterianas debido a que son más seguras, sin embargo, altas concentraciones pueden causar sobreablandamiento (Arshad y col., 2016).

4.6.1.2 Enzimas de origen microbiano

Pinto y col. (2010) reportaron una proteasa producida por *Pseudomonas fluorescens* aislada de leche. El género *Pseudomonas* ha sido estudiado desde hace muchos años como productor de proteasas, sin embargo más recientemente se ha descubierto que existe una colagenasa extracelular producida por *Pseudomonas* sp. SUK. La colagenasa ya ha sido purificada y su peso molecular determinado por SDS-PAGE, el cual fue reportado en 58.6 kDa, la temperatura óptima fue 60°C y un pH de 8.0. La enzima fue estable a varios pH y temperaturas y es capaz de degradar varios tipos de colágena *in vitro*. El estudio concluye, que la proteasa colagenolítica purificada de *Pseudomonas*

sp SUK podría ser explotada para el ablandamiento de la carne (Bhagwat y col., 2016).

Bureros y col. (2020) investigaron el uso de la proteasa producida por *Bacillus subtilis* como ablandador en carne de búfalo. El efecto ablandador fue comparado con un ablandador comercial que contenía papaína. Los resultados mostraron que 0.35% de la proteasa de *Bacillus subtilis* reduce la dureza en un 80%. Sensorialmente esta blandura también es detectada, siendo mayor que la presentada por la proteasa comercial.

4.6.2 Enzimas endógenas

Muchos estudios, han mostrado que las proteasas, son responsables del ablandamiento de la carne, la blandura de la carne, es la característica de calidad más importante desde el punto de vista del consumidor. Entre estas proteasas, tenemos al sistema proteolítico calpaina, las catepsinas y las caspasas.

4.6.2.1 Catepsinas

Las catepsinas, son enzimas lisosomales ácidas que se rompen cuando el pH empieza a bajar *postmortem* (Lawrie, 1974), comprenden un grupo de enzimas tanto endo como exo peptidasas: cistein proteasas (catepsinas B, H, L, X) serin proteasas (catepsina G) y aspartil proteasa (Catepsina D y E) (Kemp y col., 2010).

La participación de las catepsinas en el ablandamiento de la carne es dudosa, debido a que, no se ha podido probar que las catepsinas estén libres *postmortem*. Además, las catepsinas tienen la habilidad para degradar miosina, actina y alfa actinina y durante el ablandamiento normal de la carne solo una pequeña cantidad de estas proteínas es degradada (Nowak, 2011).

Wheeler y col. (1990) estudiaron los posibles mecanismos para la diferencia en la dureza de ganado Hereford y Brahman. El músculo *Longissimus dorsi* muestra ser más duro en el ganado Brahman que en el Hereford, la actividad de las catepsinas B o B+L no fueron diferentes entre las dos razas, por lo que ellos concluyeron que la diferencia en dureza puede ser debida a las calpainas.

4.6.2.2 Calpainas

El segundo grupo, son las calpainas, las cuales son enzimas neutras, dependientes del calcio y con un pH óptimo de 7. Las calpainas son una superfamilia de 14 cistein proteasas pero en el músculo solo se encuentran 3: calpaina I (μ), calpaina II (m) y calpaina 3 ($p94$), así como el inhibidor endógeno llamado calpastatina.

La tercera calpaina fue reportada recientemente, originalmente fue conocida como $p94$ calpaina 3 o 94 kDa calpaina, esta proteasa es específica del músculo esquelético. El sistema calpaina está localizado en las miofibrillas y la m -calpaina en el citosol. Ambas calpainas son heterodímeros compuestos de 2 subunidades: una larga de 80 kDa y una pequeña de 30 kDa (Bhat y col., 2018).

Koohmaraie, fue uno de los primeros investigadores en estudiar al sistema proteolítico calpaina y su efecto en la maduración de la carne. El suponía, que el rompimiento o degradación de las líneas Z y de la desmina, eran responsables del incremento de la fragilidad de las miofibrillas durante el almacenamiento *postmortem* (Koohmaraie, 1994). Por su parte, Dransfield opinaba que, la blandura es la característica más importante para la aceptabilidad de la carne y es afectada por variaciones en la producción. El proceso de ablandamiento es modelado por la actividad de las calpainas y el grado del ablandamiento es proporcional al nivel de calpainas (Dransfield, 1994).

González-Tenorio y col. (2004) marinaron el músculo *Braquicephalicus* de bovino con una solución de cloruro de calcio 150 mM a 4°C en una masajeadora a 10 rpm durante 2 horas, el músculo *Braquicephalicus* es uno de los más duros de la canal y se encuentra en el cuello, las muestras incrementaron su blandura con el tiempo por el efecto del cloruro de calcio, esto medido por la navaja de Warner Bratzler y el índice de fragmentación miofibrilar, lo que demuestra la activación de las calpainas por el cloruro de calcio.

Pérez-Chabela y col. (2005) marinaron carne de bovino, caballo, gallina y conejo en una solución de cloruro de calcio para activar al sistema calpaina, ellos utilizaron electroforesis en gel (SDS-PAGE) y microscopia de luz para observar la degradación de la estructura miofibrilar. Los resultados

mostraron, que las especies más afectadas por la marinación con cloruro de calcio fueron bovino y caballo, sin embargo, las 4 muestras marinadas fueron más blandas que el control. Existen más bandas de peso molecular pequeño en las muestras marinadas, esto debido a la degradación de las proteínas de mayor peso molecular como la titina o nebulina, así como la aparición de un polipéptido 30kDa producto de la degradación de la troponina. Las estructuras de las muestras marinadas, muestran fracturas y zonas oscuras debido a la degradación de las proteínas miofibrilares, siendo en bovino más notorias. Se concluyó que la marinación con cloruro de calcio activa al sistema proteolítico calpaina rompiendo proteínas situadas estratégicamente como por ejemplo la alfa actinina que se encuentra dentro de la línea Z. En la figura 4.5 se muestra carne de caballo marinada con cloruro de calcio durante 48 horas a 4°C donde se pueden ver las fracturas que se producen en las fibras.

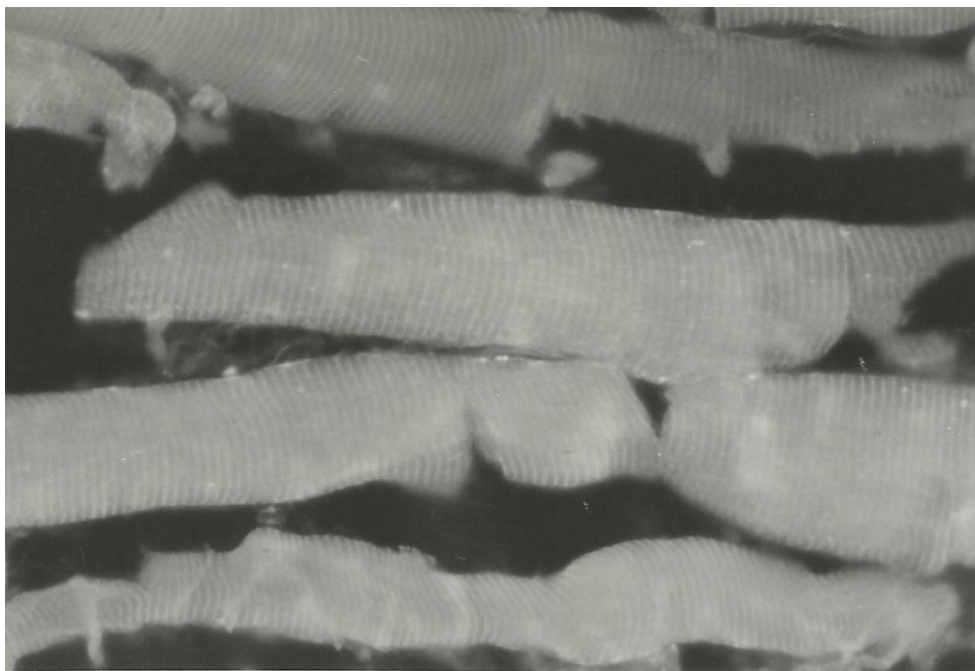


Fig. 4.5 Muestra la degradación de la alfa actinina por calpainas en carne de caballo marinada por 48 horas a 4°C. Se utilizaron anticuerpos monoclonales. 400 aumentos.

4.6.2.3 Otro sistema enzimático involucrado en el ablandamiento

En la última década, se ha reportado otro sistema proteolítico responsable del ablandamiento de la carne: las caspasas. Las caspasas son una familia de cisteín proteasas. La caspasa 3 juega el papel más importante, tiene su máxima actividad en los primeros estados *postmortem* y después decrece. Su actividad está en proteínas como titina, nebulina, desmina y troponina-T, tal vez, este nuevo sistema enzimático junto con las calpainas sean las responsables del ablandamiento *postmortem* de la carne (Nowak, 2011). Las caspasas se clasifican en 2 grupos: las que participan en la iniciación de la apoptosis que son las caspasas 2, 8, 9 y 10 y las que son envueltas en la proteólisis *postmortem* que incluyen a las caspasas 3, 6, y 7 (Huang y col., 2012).

4.7 Fenómenos que causan carne de mala calidad

Le llamamos fenómenos a los eventos que ocurren durante el proceso de conversión y que afectan las características de calidad de la carne, se conocen de 2 tipos, los causados por estrés (PSE y DFD) y los causados por ATP residual (acortamiento por frío y rigor de descongelación).

4.7.1 Estrés

El estrés es un factor que afecta la glucólisis *postmortem*, acelerándola y provocando que el proceso de conversión de músculo a carne no se lleve a cabo adecuadamente, por lo que se afectan drásticamente las características de calidad de la carne, existen 2 fenómenos causado por estrés que producen carne de mala calidad y son: pálida, suave y exudativa (PSE) y dura, firme y seca (DFD).

Existen tecnologías modernas para reducir la presencia de PSE y DFD en carnes, estas incluyen, mejorar los vehículos que transportan los animales al lugar de matanza, los métodos de insensibilización, los procesos de enfriado, etc.

4.7.1.1 PSE

Pálida suave y exudativa es una condición que se da principalmente en cerdos, pero que ahora lo vemos frecuentemente en aves, pollos y pavos. Altera

el color, la textura y el sabor de la carne, la vuelve ácida y con baja capacidad de retención de agua. Es causada por una glucólisis *postmortem* acelerada, la cual hace que se desnaturalicen las proteínas sarcoplásmicas y miofibrilares, como la mioglobina es una proteína sarcoplásmica, cuando se desnaturaliza hace que se pierda el color de la carne, de allí descrita como pálida, la carne gotea debido a la pérdida de las proteínas sarcoplásmicas por eso es exudativa y la desnaturalización de las proteínas miofibrilares hace que quede suave.

Alarcón-Rojo y col. (2005) realizaron un estudio para conocer la incidencia de PSE y DFD en cerdos de la región del Bajío, la incidencia fue de 3.4% de carne PSE y 16.1% de carne DFD el cual fue atribuido al estrés que se produce antes de la matanza.

Castrillón y col. (2005) evaluaron a 520 cerdos midiéndoles el pH a los 45 minutos y a las 24 horas *postmortem*, los valores de pH a los 45 minutos indicaron que el 33.65% de las canales es PSE. Sin embargo, este valor se incrementa a las 24 horas llegando al 68%.

Romero y Sánchez (2015) realizaron un estudio con 3156 cerdos en la región de Antioquía la cual es la principal zona porcícola de Colombia durante 3 meses, para evaluar los principales factores de riesgo para la aparición de carne PSE, la incidencia de PSE encontrada fue de 5.8%, el peso, tiempos de espera en la planta de matanza y la presencia de contusiones cutáneas aumentan el riesgo de presentar PSE.

Bautista y col. (2016) evaluaron el efecto del estrés por calor y el tiempo de espera antes de la matanza, en las características fisicoquímicas de la pechuga de pollo. Utilizaron 2 tratamientos: 2 y 8 horas de espera a 24°C y 2 horas de espera a 40°C. Los resultados mostraron que los pollos sometidos a estrés por calor (40°C) o por periodos largos de tiempo (8 horas) induce a una condición PSE, tiempos de espera de 2 horas a temperatura ambiente no afecta la calidad de la carne.

Aunque al principio, se atribuyó que esto era causado solamente por estrés, ahora sabemos que existe un componente genético que es el gen halotano. El gen halotano, determina la predisposición del síndrome de estrés

porcino en cerdos por lo que se relaciona con la carne PSE. Silveira y col. (2011) estudiaron la influencia del gen halotano en la calidad de la carne de cerdo en Brasil. De las 58 muestras, el 40% contenía el gen halotano. La carne de los animales con gen halotano tuvieron un pH más bajo, menos grasa dorsal y más carne magra, color más pálido y por lo tanto inferior calidad de la carne.

4.7.1.2 DFD

Dura, firme y seca (por sus siglas en inglés) es un fenómeno que pasa cuando los animales son sometidos a estrés crónico durante el transporte prolongado, largas horas que no tiene alimento, o a estadías largas en el rastro, durante este tiempo, el animal agota sus reservas de glucógeno y no queda nada para poder hacer el proceso de glucólisis *postmortem*, lo cual se ve afectado en la caída del pH. El pH final queda por arriba de 6.4 (Adzitey y Nurul, 2011).

Los bovinos también sufren estrés *antemortem* que puede provocar el denominado corte oscuro. Corstiaensen y col. (1981) examinaron 845 toros de 3 diferentes lugares de matanza, 11.9% mostraron un pH alto (6.2) a las 24 horas *postmortem*, esta situación puede ser disminuida si se acortan los tiempos de transporte o que el animal tenga tiempo de descanso antes de la matanza para que pueda recuperar sus reservas de glucógeno.

Quiroz-Osorio y col. (2016) evaluaron el efecto del ayuno antes de la matanza en 78 animales Brahman de 24-27 meses de edad y con un peso aproximado de 465 kg. Ellos utilizaron 2 tipos de ayuno: corto (20 horas) y largo (40 horas). Los resultados mostraron que existe una diferencia en la caída del pH medido a las 24 horas por los tiempos de ayuno, en la canal con ayuno corto (20 horas) el pH final fue de 5.7 y en la canal con ayuno largo fue de 6.9 lo cual indica que es una carne DFD. En la Tabla 4.3 se muestran las principales diferencias entre PSE y DFD.

Tabla 4.3 Principales diferencias entre PSE (pálida, suave y exudativa) y DFD (dura, firme y seca)

	PSE	DFD
Especies	Cerdos, aves: pollos y pavos	Bovinos
Causas	Estrés y genética (<i>gen halotano</i>)	Estrés crónico
Glucólisis	Acelerada	No pasa la glucólisis o pasa muy lento
Cambios en la carne	Desnaturalización de proteínas, baja CRA	Color oscuro, alta CRA
pH 45 min	Debajo de 6.0	6.4
pH final	5.3	Arriba de 6.0

4.7.2 ATP Residual

Cuando el músculo está todavía con ATP y es sometido a temperaturas bajas, puede sufrir acortamiento por frío o rigor de descongelación, dependiendo la temperatura a la cual sea almacenado.

El músculo sufre un acortamiento severo y termina con una gran dureza la cual es debida a la irreversible formación de la actinmiosina. Esto es influenciado por la temperatura, el pH y la concentración de ATP. Estos fenómenos son importantes cuando la carne es deshuesada en caliente, o cuando se refrigera el músculo *prerigor* para utilizarse en alimentos procesados (Honikel y col., 1983).

4.7.2.1 Acortamiento por frío

El acortamiento por frío ocurre cuando la carne llega a temperaturas inferiores a 15°C antes de llegar al rigor. El acortamiento por frío resulta en una gran dureza de la carne. Una forma de prevenirlo es mediante la estimulación eléctrica que acelera la glucólisis, otra forma de prevenirlo es poniendo sal, ya que la sal inhibe la glucólisis y el *Rigor mortis*, ya que aumenta el pH, la fuerza iónica y la capacidad de retención de agua (Pérez-Chabela y Mateo-Oyague, 2004).

King y col. (2002) realizaron un estudio con el músculo *Longissimus dorsi* de bovinos poniéndolo a los 45 minutos *postmortem* en un baño de hielo para inducir acortamiento por frío, el descenso de temperatura rápido causó severa

contracción muscular, causando una gran dureza, después el músculo se sometió a un proceso de almacenamiento por 14 días, pero la dureza persistió.

Fausto y col. (2017) realizaron un estudio para evaluar el efecto del acortamiento por frío sobre la longitud del sarcómero, en el músculo *Biceps femoris* de 10 ovinos Dorper. Los resultados mostraron que el sarcómero de un músculo normal mide entre 1.62 a 1.69 μm sin embargo el sarcómero de un músculo que sufrió acortamiento por frío se reduce a 1.31-1.39 μm , esto se refleja en una extrema dureza que no se puede revertir ni aún almacenando la carne.

4.7.2.2 Rigor de descongelación

El rigor de descongelación ocurre cuando la carne se congela todavía con un ATP residual, el problema viene cuando se descongela y se activa la ATPasa muscular provocando una contracción muy severa que resulta en una gran dureza (Pérez-Chabela y Mateo-Oyague, 2004).

Yu y col. (2005) evaluaron el efecto de la temperatura del descongelado en pechuga de pollo congelada *prerigor*. La pechuga de 24 pollos fue cortada después de 10 minutos *postmortem*, el músculo *prerigor* fue congelado a -20°C y descongelado a 0°C , como se esperaba la longitud del sarcómero y el índice de fragmentación miofibrilar fue más pequeña que la de carne congelada *postrigor*.

Kim y col. (2012) evaluaron los efectos de la temperatura de congelación y descongelación en músculos de la pierna de patos, congelados *prerigor* y *postrigor*, los músculos fueron congelados a -25°C y descongelados a 4°C , los resultados no mostraron diferencias en las características fisicoquímicas entre carne de patos que fueron congelados *prerigor* a otros que fueron congelados *postrigor* por lo que concluyeron que se puede utilizar carne de pato congelada *prerigor* sin afectar sus características fisicoquímicas.

El rigor de descongelación es frecuente en el músculo de atún, la excesiva pérdida de líquido y la blandura bajan el valor comercial de esta carne. Para prevenir esto, la carne es almacenada a -60°C después de su captura, sin embargo, el color cambia a café por la formación de metamioglobina, por lo que decidieron congelar a -7°C por un día, -10°C por 7 días antes del descongelado,

con esta práctica se logró prevenir el rigor de descongelación y la formación de metamioglobina (Imamura y col., 2012). En la Tabla 4.4 se muestran las principales diferencias entre el acortamiento por frío y el rigor de descongelación.

Tabla 4.4 Principales diferencias entre acortamiento por frío y rigor de descongelación

	<i>Acortamiento por frío</i>	<i>Rigor de descongelación</i>
<i>Cantidad de ATP residual</i>	<i>50% o más aproximadamente dependiendo del proceso de enfriado.</i>	<i>15-20% aproximadamente dependiendo del proceso de enfriado.</i>
<i>Característica principal</i>	<i>Acortamiento. Dureza</i>	<i>Acortamiento. Dureza</i>
<i>Temperatura de almacenamiento</i>	<i>Temperaturas inferiores a 15°C antes de llegar al rigor.</i>	<i>0°C o más abajo. El rigor se presenta durante el descongelado.</i>
<i>Prevención</i>	<i>Estimulación eléctrica para acelerar la glucólisis.</i>	<i>Estimulación eléctrica para acelerar la glucólisis.</i>

4.8 Conclusiones

La calidad de la carne depende de muchas cosas, una de ellas es su estructura, la cual puede ser afectada durante el proceso de conversión de músculo a carne. Otro de los factores que afectan la calidad de la carne, son los cuidados durante el transporte y antes de la matanza.

La glucólisis *postmortem* es el siguiente paso que influye en la calidad de la carne, se debe cuidar la temperatura y el tiempo correcto para la resolución del *Rigor mortis*.

Finalmente, la maduración es la mejor forma de obtener una carne con las mejores características organolépticas.

Bibliografía

Adzitey, F., Nurul, H. (2011). Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: causes and measures to reduce these incidences-a mini review. *International Food Research Journal* 18:11-20.

Alarcón-Rojo, A.D., Duarte Atondo, J.O., Rodríguez Almeida, F.A., Janacua Vidales. H. (2005). Incidencia de carne pálida, suave y exudativa (PSE) y y dura firme y seca (DFD) en cerdos sacrificados en la región del Bajío en México. *43(3): 335-346.*

Arshad, M.S., Kwon, J-H., Imran, M., Sohaib, M., Aslam, A., Nawaz, I., Amjad, Z., Khan, U., Javed, M. (2016). Plant and bacterial proteases: a key towards improving meat tenderization, a mini reviews. *Cogent Food & Agriculture* 2(1): 1-10.

Ashi, I.N.A., Sorensen, T.L., Nielsen, P.M. (2006). Effects of papain a microbial enzyme on meat proteins and beef tenderness. *Journal of Food Science* 67(6): 2138-2142

Bhagwat, P., Jhample, S.B., Jalkute, Ch. B., Dandge, P.B. (2016). Purification, properties and application of a collagenolytic. Protease produce by *Pseudomonas* sp. *SUK. RSC Advances* 69 (6): 65222-65231.

Bautista, Y., Narciso, C., Pro, A., Hernández, A.S., Becerril, C.M., Sosa, E., Velasco, J. (2016). Efecto del estrés por calor y tiempo de espera antemortem en las características fisicoquímicas y la calidad de la carne de pollo. *Archivos de Medicina Veterinaria* 48: 89-97.

Bekhit, A., Hopkins, D.L., Geesink, G., Bekhit, A.A., Franks, P. (2014). Exogenous proteases for meat tenderization. *Critical reviews in Food Science and Nutrition* 54(8): 1012-1031.

Bhat, Z.F., Morton, J.D., Mason, S.L., Bekhit, A.E.A. (2018). Role of calpain system in meat tenderness: a review. *Food Science and human wellness.* 7:196-204.

Bureros, K.J.C., Dizon, E.I., Israel, K.A.C., Abanto, O.D., Tambalo, F.Z. (2020). Physicochemical and sensory properties of carabeef treated with *Bacillus subtilis* (Ehrenberg) Cohn protease as meat tenderizer. *Journal of Food Science and technology* 57: 310-318.

- Castrillón, H.W.E., Fernández, S.J.A., Restrepo, B.L.F. (2005). Determination of PSE (pale, soft and exudative) meat in pork carcasses. *Vitae. Revista de la Facultad de Química Farmacéutica* 12(1): 23-28.
- Chauhan, S.S., England, E.M. (2018). Postmortem glycolysis and glycogenolysis: insights from species comparison. *Meat Science* 144: 118-126.
- Corstiaensen, G.P., van Logtestijn, J.G., Romme, A.M., Vincenten, C.J., Westgeest, P.W. (1981). Dark, firm and dry meat in beef bulls I. Appearance and significance. *Tijdschr Diergeneeskd* 106 (13): 655-661.
- Dransfield, E. (1994). Optimisation on tenderization, ageing and tenderness. *Meat Science* 36 (1-2): 105-121.
- Ertbjerg, P., Puolanne, E. (2017). Muscle structure, sarcomere length and influences on meat quality: A review. *Meat Science* 132: 139-152.
- Fausto, D.A., Lima, M.A., Ramos, P.M., Pertile, S.F.N., Susin, I., Delgado, E.F. (2017). Cold shortening decreases the tenderization of Biceps femoris muscle from lambs. *Revista Brasileña Saude Producción animal* 18(1): 16-25.
- Forrest, J.C., Aberle, E.D., Hedrick, H.B., Judge, M.D., Merkel, R.A. (1975). *Principles of Meat Science*. W.H. Freeman and Company. San Francisco U.S.A.
- González-Tenorio, R., Mateo-Oyague, J., Totosaus, A., Pérez-Chabela, M.L. (2004). Effect of lactic acid bacteria or gluconolactone on textural and physicochemical properties of calcium chloride marinated bovine *Bracheocephalicus* muscle. *Research Advances in Food Science* 4: 57-63.
- Honikel, K.O., Roncalés, P., Hamm, R. (1983). The influence of temperature and shortening and rigor onset in beef muscle. *Meat Science* 8(3): 221-241.
- Huang, M., Huang, F., Ma, H., Xu, X., Zhou, G. (2012). Preliminary study on the effect of caspase-6 and calpain inhibitors on postmortem proteolysis of myofibrillar proteins in chicken breast muscle. *Meat Science* 50: 536-542.
- Imamura, S., Suzuki, M., Okazaki, E., Murata, Y., Kimura, M., Kimiya, T., Hiraoka, Y. (2012). Prevention of thaw-rigor during frozen storage of bigeye tuna *Thunnus obesus* and meat quality evaluation. *Fisheries evaluation* 78: 177-185.

Istrati, D. (2008). The influence of enzymatic tenderization with papain on functional properties of adult beef. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies* 14: 140-146.

Kemp, C.M., Sensky, P.L., Barsdley, R.G., Buttery, P.J., Parr, T. (2010). Tenderness-an enzymatic view. *Meat Science*. 84:248-256.

Ketnawa, S., Rawdkuen, S. (2011). Application of bromelain extract for muscle food tenderization. *Food and Nutrition Sciences* 2(5): 393-401.

Khan, M.I., Jung, S., Nam, K.Ch., Jo, Ch. (2016). Postmortem aging of beef with a special reference to the dry aging. *Korean Journal of Food Science of Animal Resources*. 36(2): 159-169.

Kim, H.W., Lee, S.H., Choi, J.E., Choi, Y.S., Kim, H.Y., Hwang, K.E., Park, J.H., Song, D.H., Kim, C.J. (2012). Effects of rigor state, thawing temperature, and processing on the physicochemical properties of frozen duck breast muscle. *Poultry Science* 91: 2662-2667.

King, D.A., Dikeman, M.E., Wheeler, T.L., Kastner, C.L., Koohmaraie, M. (2002). Effects of cold shortening and cooking rate on beef tenderness. *Cattlemen's day 2002*. 86-89.

Koohmaraie, M. (1994). Muscle proteinases and meat aging. *Meat Science* 36 (1-2): 93-104.

Lehninger, A.L. (1981). *Biochemistry*. Second Edition. Worth Publishers, Inc. Nueva York, U.S.A. 417-442.

Lawrie, R.A. (1974). *Ciencia de la Carne*. Editorial Acribia. 2ª. Edición. Zaragoza, España.

Lawrie, R.A. y Ledward, D.A. (2006). *Lawrie's meat Science*. Seventh Edition. CRC Press. Boca Raton, Florida, U.S.A.

McCormick, R.J. (1994). The flexibility of the collagens compartment of muscle. *Meat Science* 36(1-2): 79-91.

Nowak, D. (2011). Enzymes in tenderization of meat-the system of calpains and other systems-a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 61(4): 231-237.

Paulin, D., Li, Z. (2004). Desmin: a major intermediate filament protein essential for the structural integrity and function of muscle. *Experimental cell research* 301: 1-7.

Pérez-Chabela, M.L. y Mateo-Oyague, J. (2004). Frozen Meat: quality and shelf life. En: *Handbook of frozen foods*. Hui, Y.H., Cornillon, P., Legarreta, G.I., Lim, M.H., Murrel, K.D., Nip, W.K. (Eds.) Marcel Dekker Inc. NY USA. 201-214.

Pérez-Chabela, M.L., Guerrero-Legarreta, I., Gutierrez-Ruiz, M.C., Betancourt-Rule, J.M., Pérez-Torres, A., Ustarroz-Cano, M. (2005). Effect of calcium chloride marination on electrophoretical and structural characteristics of beef, rabbit and chicken meat. *International Journal of Food Properties* 8:207-219.

Pinto, U.M., Costa, E.D., Mantovani, H.C., Vanetti, M.C.D. (2010). The proteolytic activity of *Pseudomonas fluorescens* 07 A isolated from milk is not regulated by quorum sensing signals. *Brazilian Journal of Microbiology* 41: 91-96.

Price, J.F., Schweigert, B.S. (1971). *The Science of Meat and Meat Products*. W.H. Freeman and Company San Francisco U.S.A.

Purlow, P.P. (2018). Contribution of collagen and connective tissue to cooked meat toughness: some paradigms reviewed. *Meat Science* 144: 127-134.

Quiroz-Osorio, K., Restrepo Molina, D.A., Barahona Rosales, R. (2016). Efecto del tiempo de ayuno sobre el rendimiento en canal y el pH en canales bovinas. *Revista Lasallista de Investigación* 13(2): 80-87.

Robson, R.M., Huiatt, T.W., Parrish Jr. F.C. (1991). Biochemistry and structural properties of titin, nebulin and intermediate filaments in muscle. *Reciprocal meat conference* 44: 7-20.

Rodríguez, M.A., Liu, J-H., Parkkonen, K., Li, Z. Pedrosa, F. (2018). *Anatomy and Pathology/Oncology* 59(12): 4847-4855.

Romero, P.M.H. y Sánchez, V.J.A. (2015). Evaluación de factores de riesgo de carne pálida, suave y exudativa (PSE) debido a las condiciones presacrificio en cerdos. *Revista Biosalud* 14(1): 57-68.

Silveira, A.C.P., Freitas, P.F.A., Cesar, A.S.M., Antunez, R.C., Guimaraes, E.C., Batista, D.F.A., Torido, L.C. (2011). Influence of the halothane gene (HAL) on

pork quality in two commercial crossbreds. *Genetics and Molecular Research* 10(3): 1479-1489.

Suman, S., y Poulson, J. (2013). Myoglobin chemistry and meat color, *Animal Review of Food Science and technology* 4:79-99.

Wang, F., Zhang, Y., Li, J., Guo, X., Cui, B., Peng, Z. (2016). Contribution of cross-links and proteoglycans in intramuscular connective tissue to shear force in bovine muscle with different marbling levels and maturities. *LWT- Food Science and Technology* 66: 413-419.

Weston, A.R., Rogers, R.W., Althe, T.G. (2002). Review: the role of collagens in meat tenderness 18(2): 107-111.

Wheeler, T.L., Savell, J.W., Cross, H.R., Lunt, D.K., Smith, S.B. (1990). Mechanisms associated with the variation in tenderness of meat from Brahman and Hereford cattle. *Journal of Animal Science* 68:4206-4220.

Yu, L.H., Lee, E.S., Jeong, J.Y., Paik, H.D., Choi, J.H., Kim, C.J. (2005). Effects of thawing temperature on the physicochemical properties of pre-rigor frozen chicken breast and leg muscles. *Meat Science* 71(2): 375-382.

Yu, Q.P., Feng, D.Y., Xiao, J., Wu, F., He, X.J., Xia, M.H., Dong, T., Liu, Y.H., Tan, H.Z., Zou, S.G., Zheng, T., Ou, X.H., Zuo, J.J. (2017). Studies on meat color, myoglobin content, enzyme activities and genes associated with oxidative potential of pigs slaughtered at different growth states. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 30 (12): 1739-1750.

Capítulo 5.
Propiedades Funcionales
de la Carne

Edith Ponce Alquicira

5.1 Introducción

Se entiende que la carne es la estructura compuesta mayoritariamente por tejido muscular estriado de las especies animales autorizadas para consumo. En el caso de la carne fresca implica que ya ha pasado por la etapa de *Rigor mortis* y que no ha sido sometida a ningún otro proceso que modifique de modo irreversible sus características fisicoquímicas y sensoriales, salvo la refrigeración y el empaque. Por su propia naturaleza, la carne presenta variaciones en su composición y funcionalidad derivado de múltiples factores que van desde la localización anatómica de un músculo, la especie, raza o línea genética, el sistema de producción, las condiciones de matanza; así como de las condiciones de almacén y comercialización. De igual forma, los criterios para evaluar la calidad de carne son diversos, y es el usuario dentro de la cadena de producción quien establece los parámetros de calidad, acorde a su marco de referencia y expectativas. En general, los consumidores finales toman la decisión de compra como resultado de una evaluación subjetiva de la calidad, considerando en primer término el color y la apariencia general.

La fracción proteica tiene un papel fundamental en la función biológica del músculo *in vivo* y en los procesos *post-mortem* de transformación de músculo a carne, así como desde el punto de vista nutricional, organoléptico y tecnológico. Las proteínas musculares como se mencionó en el capítulo 4, se clasifican acorde con su localización y solubilidad en tres grandes grupos: (1) proteínas sarcoplásmicas, (2) proteínas miofibrilares o contráctiles y (3) proteínas del tejido conectivo.

Las proteínas sarcoplásmicas representan el 35% del total de las proteínas, son solubles en agua y se encuentran en el citoplasma celular; son en su mayoría globulinas y albúminas que constituyen los sistemas enzimáticos y participan en la modulación del metabolismo celular. En este grupo destaca la mioglobina como la principal proteína responsable del color de la carne fresca y de los productos procesados. Por otra parte, las proteínas miofibrilares son insolubles en agua, pero solubles en soluciones salinas de alta fuerza iónica, representan el 50% del total de las proteínas musculares y son las responsables primarias de la estructura muscular. Estas

proteínas constituyen el sistema contráctil de miofilamentos y participan directamente en la transformación de la energía química a energía cinética, además están directamente relacionadas con la terneza y las características tecnológicas de la carne como las propiedades de retención de agua, de emulsión y de gelificación.

Desde el punto de vista de la calidad, las propiedades funcionales de la carne incluyen propiedades organolépticas (color, sabor, olor, textura y terneza) y propiedades tecnológicas como la capacidad de retención de agua (CRA), así como su habilidad para formar emulsiones y geles. Estas propiedades funcionales dependen de interacciones proteína-agua, proteína-proteína, así como de propiedades de superficie. El objetivo del presente capítulo es revisar las bases de las propiedades funcionales de la carne fresca en función de su capacidad de retención de agua, color y terneza.

5.2 Capacidad de retención de agua y jugosidad

Una de las principales propiedades funcionales de la carne, es la capacidad de retención de agua (CRA) que se define como la habilidad de la carne para retener el agua (tanto propia como añadida) cuando es sometida a un esfuerzo, durante las operaciones de picado, rebanado, transporte, almacén, procesamiento y cocción.

La CRA está directamente asociada con la jugosidad; entendiendo que la jugosidad es una propiedad sensorial subjetiva, que contribuye en la aceptación de la carne por parte de los consumidores. La jugosidad de la carne se describe como la sensación de humedad y lubricación al masticar un trozo de carne, que se percibe en dos fases: la primera producida por la rápida liberación de fluidos y que depende del contenido de agua en la carne. La segunda fase se refiere a la sensación durante la masticación prolongada, en donde la grasa intramuscular o marmoleo tiene un papel fundamental, por su efecto lubricante al facilitar la masticación y estimular la salivación (Warner, 2017).

5.2.1 Localización y movilidad del agua dentro de la estructura muscular

Los cortes magros contienen en promedio 75% de agua y 20% de proteína, además de carbohidratos, minerales y vitaminas en concentraciones de alrededor del 1%. El contenido de grasa es variable e inversamente proporcional al contenido de agua, los cortes magros en promedio pueden tener del 0.5 al 3.6% de grasa intramuscular, a diferencia de otros cortes. Por ejemplo, en la clasificación de carne del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), señala para la carne selecta un contenido de grasa entre 5-6%; los cortes choice, con un marmoleo moderado, presentan entre el 7 a 12% de grasa y los cortes prime, con un marmoleo abundante, tienen una mayor concentración de grasa.

La tabla 5.1 muestra una clasificación de agua por su localización y por sus características de movilidad. Del total del agua presente en el tejido muscular, entre el 75%, se encuentra dentro de las miofibrillas, asociada a los miofilamentos y directamente unida a las proteínas miofibrilares, por lo que también se le llama agua intra-miofibrilar y constituye el sarcoplasma. El agua restante (25 al 15%) se ubica en los espacios interfibrilares y extracelulares, por lo también se le conoce como agua extra-miofibrilar.

Tabla 5.1 Contenido y clasificación del agua en el tejido muscular por su localización y movilidad

Localización	Características de movilidad	Contenido aproximado de agua (%)
Intra-miofibrilar	Agua ligada	1
	Agua inmovilizada	75
Extra-miofibrilar	Agua libre	10
Extracelular		15

Por otra parte, el agua presenta varios niveles de movilidad dentro del tejido muscular, por lo que también se clasifica en ligada, inmovilizada y libre. El agua ligada (1% del agua del total) se encuentra fuertemente asociada a las proteínas, tiene baja movilidad y no se congela. El agua inmovilizada o atrapada (75-80% del agua total) se encuentra retenida por efectos estéricos entre los filamentos gruesos y delgados (en espacios cuyo radio varía entre

0.02 a 0.05 mm), tiene cierto grado de movilización, se puede congelar y eliminar por secado. El agua restante corresponde al agua libre, atrapada dentro de la estructura del tejido muscular por fuerzas capilares, se ubica en los espacios interfibrilares y extracelulares (aproximadamente 0.5 mm de diámetro), puede fluir con relativa facilidad durante el enfriamiento y deshielo. La cantidad de agua inmovilizada dentro del tejido muscular depende de la organización espacial de las proteínas miofibrilares, es decir de la disposición de los filamentos de actina y miosina en el sarcómero, de la carga eléctrica de las proteínas, de los cambios *postmortem* y del pH, así como de la presencia de sales y otros aditivos (Huff-Lonergan y Lonergan, 2005; Listrat y col., 2016; Warner, 2017).

5.2.2 Variación de la CRA por cambios post-mortem

Inmediatamente después de la matanza, el tejido muscular en pre-rigor posee una elevada CRA y más del 95% del agua se encuentra dentro de las células musculares. Sin embargo, cuando se establece el *rigor-mortis* las fibras musculares se contraen por la formación irreversible del complejo actino-miosina, provocando la salida de agua hacia los espacios extra-miofibrilares y extracelulares.

Diversos autores han señalado que la degradación proteolítica *post-mortem* de la desmina y la integrina provoca la apertura de canales y facilita la pérdida de agua por goteo. La cantidad de agua que el tejido muscular pierde por goteo depende de la magnitud del acortamiento de las fibras musculares en la etapa *postmortem* y de la integridad de la ultraestructura miofibrilar, incluidas las proteínas del citoesqueleto; así como de la permeabilidad de la membrana celular y de los espacios extracelulares que permitan la acumulación del agua (Hurf-Lonergan y Lonergan, 2005).

Aunado a ello, la retención de agua también varía en función de los cambios de pH y de la acidez *postmortem*. Los valores mínimos de CRA se presentan a un pH cercano al punto isoeléctrico (pI) de las proteínas miofibrilares (pI \approx 5.0-5.2) y particularmente de la miosina (pI = 5.4), derivado de una reducción en la carga neta de las proteínas que favorece el establecimiento de interacciones proteína-proteína sobre las interacciones proteína-agua (Hurf-Lonergan y Lonergan, 2005).

El pH del tejido muscular *in vivo* tiene un pH=7, pero en la etapa *postmortem*, derivado de la glucólisis y acumulación de ácido láctico, el pH desciende hasta valores cercanos a 5.5. El descenso en el pH promueve formación de cationes ($\text{NH}_2 \rightarrow \text{NH}_3^+$) por lo que la carga neta de las proteínas miofibrilares se acercará a la neutralidad, disminuyendo las fuerzas de repulsión y se favorecerá la interacción iónica entre las cadenas laterales proteicas de carga opuesta (Warner, 2017). El espacio extracelular entre las fibras musculares *in vivo* es muy reducido, pero derivado de la contracción muscular y establecimiento del *rigor-mortis*, las fibras musculares sufren un acortamiento longitudinal y transversal, con el consecuente incremento del espacio extracelular, formando así los llamados “canales de goteo” y la fuerza motriz que permite la salida del agua de las miofibrillas hacia el sarcoplasma y hacia los espacios extracelulares (Huff-Lonergan y Lonergan, 2005; Listrat y col., 2016; Warner, 2017).

Bajo condiciones normales la disminución *postmortem* del pH se presenta de forma gradual en un periodo de al menos 12 y 24 horas, para la carne de cerdo y res, respectivamente, al mismo tiempo que la temperatura de la canal disminuye. Sin embargo, condiciones que modifican la velocidad del descenso del pH y la temperatura afectan también las propiedades de CRA.

La condición conocida como DFD (carne dura firme y seca) es resultado de un estrés prolongado antes de la matanza, que deriva en una reducción de la reserva de glucógeno, por lo que esta carne se caracteriza por presentar una baja acidez y elevado pH (>6) y una mayor capacidad de retención de agua. La superficie de la carne será seca y con una baja reflexión de la luz por lo que tenderá a percibirse más oscura. Al mismo tiempo que las proteínas de choque presentes en la carne DFD limitan la acción de las proteasas endógenas reflejándose en una carne con mayor dureza (Ijaz y col. 2020). En contraste, la carne pálida suave y exudativa (PSE) tiene una baja CRA como resultado de un rápido descenso del pH y acumulación de ácido láctico cuando la temperatura de la canal es elevada (32-40°C), derivado del estrés *antemortem* y a la presencia del gen HAL.

El rápido descenso del pH promueve la desnaturalización de las cabezas globulares de la miosina y un mayor acortamiento de la estructura miofibrilar, por lo que el agua migrará hacia el exterior, se tendrá una apariencia hú-

meda y mayor reflexión de la luz en la superficie de la carne, que se percibirá como una carne más clara o pálida (Listrat y col., 2016). Estudios de proteómica revelan que existe una correlación entre la actividad metabólica, antioxidante y proteolítica con la velocidad de descenso de pH en las primeras etapas *postmortem*, reportando al menos 21 proteínas para músculos con alto y bajo nivel de exudado que podrían servir como posibles marcadores moleculares (Zhang y col., 2019).

Por otra parte, la mutación del gen *PRKAG3* que codifica para la subunidad γ encargada de la regulación y activación de la AMP-kinasa activada (AMPK), provoca un incremento del 70% de la actividad glucolítica y mayor producción de ácido láctico, por lo que la carne tendrá un pH final bajo y una menor retención de agua (Leal-Gutiérrez y Jiménez-Robayo, 2014; Listrat y col., 2016).

La CRA también depende de la actividad proteolítica *postmortem*, se ha señalado que la cantidad de agua que se pierde por goteo depende de la integridad de los filamentos intermedios que constituyen el citoesqueleto. Particularmente de la desmina, filamina y vinculina, entre otras, que conforman los costameros y la línea Z. Una elevada degradación de los filamentos del citoesqueleto mejora las propiedades de retención de agua debido a que permite la reabsorción del agua al interior de la fibra muscular. Zeng y col. (2017) confirman la participación de los sistemas proteolíticos endógenos (calpaina-calpastatina, proteasas lisosomales y proteosoma) en la reabsorción de agua hacia el interior de las fibras musculares e incremento de la CRA en las etapas posteriores al rigor.

5.3 El color de la carne fresca

El color de la carne es uno de los parámetros que mayor efecto tiene en la preferencia de los consumidores, es una característica fundamental en el punto de venta y se considera un indicador de frescura. El consumidor busca intuitivamente un color rojo brillante en la carne de res o un color rojo a rosáceo para carne de cerdo, cualquier desviación será un indicativo de pérdida de frescura y posible deterioro. El color de la carne depende principalmente del contenido de mioglobina y de la proporción de las di-

versas formas en que este pigmento se encuentra. Aunque, otros compuestos como hemoglobina, citocromos, catalasas, vitamina B12, peroxidasas y flavinas también pueden participar en el color de la carne. El contenido de mioglobina varía entre especies animales (bovinos 0.3-1%, porcinos 0.04-0.06 %, ovinos 0.2-0.6 %); sin embargo, factores como la raza, género, edad, tipo de músculo y alimentación también influyen en el contenido de este pigmento (Faustman y Suman, 2017).

5.3.1 Estructura de la mioglobina

La mioglobina es una proteína hidrosoluble que contiene hierro. La principal función de esta proteína es almacenar el oxígeno necesario para el metabolismo de las fibras musculares y generar energía en el proceso de contracción muscular. Acorde con la localización anatómica y función de los diversos músculos, estos contienen en mayor o menor proporción fibras musculares rojas, blancas e intermedias. Las fibras rojas están mejor adaptadas a un metabolismo aerobio, presentan una respuesta de contracción lenta y prolongada, tienen un mayor gasto energético por lo que contienen un alto número de mitocondrias y mayor concentración de mioglobina. Por otra parte, las fibras blancas, con menor contenido de mioglobina, están más adaptadas al metabolismo anaerobio y presentan una rápida respuesta de contracción.

La mioglobina está constituida por una cadena polipeptídica (globina) o apoproteína, unida a un grupo prostético hemínico que contiene un átomo central de hierro (Fe). La apoproteína contiene 153 residuos de aminoácidos con una secuencia relativamente conservada, pero con variaciones en su secuencia y peso molecular específicas acorde a la especie; además presenta una alta proporción de un ordenamiento de alfa-hélice en ocho segmentos de su estructura secundaria y una estructura terciaria globular que protege al grupo hemo (Faustman y Suman, 2017).

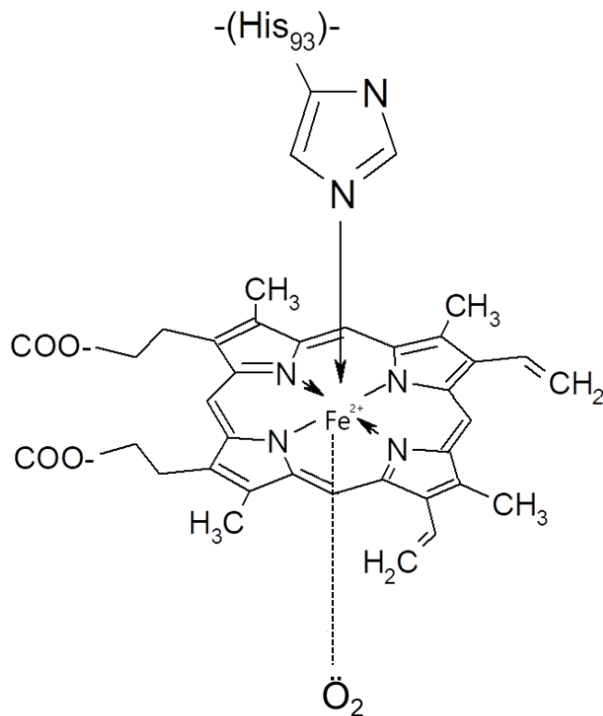


Figura 5.1 Estructura del grupo hemo mostrando un átomo central de hierro (Fe^{2+}) y una molécula de oxígeno O_2 en sexto el sitio de coordinación (Adaptado de Belitz y Grosch, 1999; Ponce-Alquicira, 2004).

El grupo hemo es un anillo protoporfirínico conformado por cuatro grupos pirrol unidos entre sí por puentes metilénicos y en cuyo centro se ubica un átomo de hierro (Figura 5.1). El átomo de hierro puede encontrarse en sus estados reducido (Fe^{2+} o II) u oxidado (Fe^{3+} o III). El hierro puede aceptar seis electrones en su orbital externo por lo que contiene seis sitios de coordinación; cuatro de ellos están ocupados por el nitrógeno de los pirroles del anillo, el quinto con el nitrógeno del grupo imidazol del residuo proximal de histidina que ocupa la posición 93 de la cadena de la apoproteína, que conecta a la globina con el grupo hemo. Adicionalmente, puede formar un enlace de coordinación distal con la globina a través del residuo de histidina de la posición 64, particularmente en presencia de oxígeno. Este enlace dis-

tal ejerce un efecto estérico que limita el tamaño de los ligandos que pueden ocupar el sexto sitio de coordinación, favoreciendo la interacción con el oxígeno, agua, óxido nítrico o monóxido de carbono (Listrat y col., 2016; Suman y Joseph, 2013).

5.3.2 Variaciones en el color de la carne fresca

El color de la carne dependerá del estado de oxidación del átomo de hierro, así como del compuesto que ocupe el sitio de coordinación (Tabla 5.2). El hierro en su forma reducida (Fe^{2+}) forma deoximioglobina (DMb) y oximioglobina (OMb). La deoximioglobina presenta un color rojo púrpura característico de una carne que no ha sido expuesta al oxígeno o de la carne empacada al vacío; en tanto que la oximioglobina con un color rojo cereza, se presenta en la superficie de la carne que ha sido expuesta al oxígeno atmosférico, en un proceso denominado “Bloom” o florecimiento donde una molécula de oxígeno está ligada del grupo hemo ocupando sexto el sitio de coordinación (Jacob, 2020).

Tabla 5.2 Formas de la mioglobina

Forma	Estado de oxidación	Ligando (sexto sitio de coordinación)	Color de la carne
Deoximioglobina (DMb)	Fe^{2+} (II)	---	Rojo púrpura
Oximioglobina (OMb)	Fe^{2+} (II)	O_2	Rojo brillante
Carboximioglobina (COMb)	Fe^{2+} (II)	CO	Rojo brillante
Metamioglobina (MMb)	Fe^{3+} (III)	H_2O	Pardo

La concentración de oximioglobina disminuye en el interior del tejido muscular a medida que disminuye la difusión del oxígeno, por lo que en el interior del tejido la mayor parte de la mioglobina se encontrará como deoximioglobina. Ambos pigmentos pueden formar metamioglobina (MMb) como resultado de la oxidación del hierro a su estado férrico (Fe^{3+}), generando un color pardo o marrón que los consumidores relacionan con una carne en mal estado, aunque estos cambios pueden ser independientes de la carga microbiana. La conversión de OMb a DMb en la superficie de la carne ocurre en dos etapas; la primera etapa comprende la oxidación de la OMb a

MMb por una baja presión de oxígeno, seguida de la reducción del hierro de su estado férrico a ferroso ($\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$), generando DMb *vía la acción del sistema NADH (dinucleótido de nicotinamida adenina) y los sistemas enzimáticos mioglobina-reductasa (MRA)*.

Los procesos de transformación de músculo a carne se acompañan de una reducción del pH, derivado de la glucólisis anaerobia en los que también se generan otros metabolitos como lactato, succinato y piruvato que ejercen un papel estabilizador del color. La mioglobina y las enzimas mitocondriales compiten por el oxígeno residual presente en el tejido muscular, por lo que la formación de MMb y el consecuente pardeamiento de la carne es inevitable. La velocidad con la que se presente este cambio depende de múltiples factores como son: el tiempo y temperatura de almacén, así como el pH, la presión parcial de oxígeno, la actividad mitocondrial del tejido muscular y la carga microbiana (Faustman y Suman, 2017; Purslow y col., 2020; Ramnathan y Mancini, 2018).

La mioglobina también puede formar complejos con otros ligandos, con el monóxido de carbono (CO) forma carboximioglobina (COMb) y con el óxido nítrico forma nitrosimioglobina (NOMb). En presencia de H_2S y ascorbato forma los pigmentos de color verde como la sulfomioglobina (SMb) y colemioglobina (coleMb), respectivamente, por variaciones de la temperatura y excesiva acidificación asociada a una intensa actividad bacteriana y un exceso de agentes reductores (Djenane y Roncales, 2018; Mancini, 2013). La figura 5.2 resume los principales cambios de color en la carne fresca.

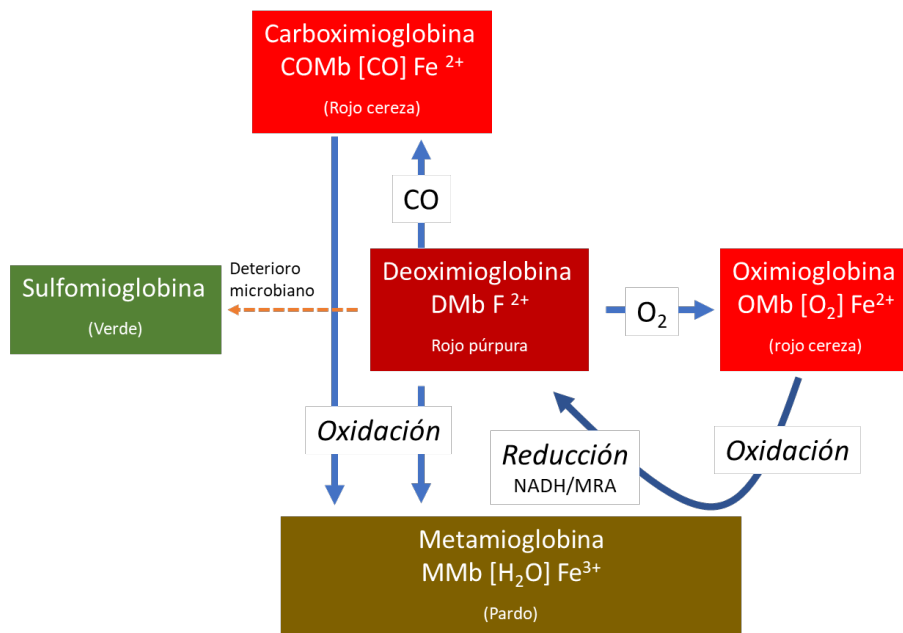


Figura 5.2. Estados de la mioglobina con relación al color de la carne fresca, acorde al estado de oxidación del hierro en su forma reducida (Fe^{2+}) u oxidada (Fe^{3+}) y el ligando (O_2 , CO o H_2O) unido al sexto sitio de coordinación del grupo hemo (Adaptado de Mancini y Hunt, 2005; Mancini, 2013).

Como se mencionó en la sección 5.2, las condiciones DFD y PSE modifican las propiedades de retención de agua y por ende fenómenos de reflexión de la luz y la percepción del color de la carne. La carne DFD tiene baja reflexión de la luz por lo que tenderá a percibirse más oscura (Ijaz y col. 2020). En contraste, la carne pálida suave y exudativa (PSE) tiene una baja CRA, el agua migra hacia el exterior generando una apariencia húmeda y una mayor reflexión de la luz, por lo que de la carne que se percibirá más clara o pálida (Listrat y col., 2016; Purslow y col., 2020).

5.3.3 Factores que modifican el color de la carne fresca

El color de la carne es susceptible a sufrir variaciones por múltiples causas dentro de las que destacan, la presencia o ausencia de oxígeno, el tipo de empaque, iluminación, el tiempo y temperatura de almacén, así como la

presencia de otros compuestos derivados reacciones de oxidación lipídica y el desarrollo microbiano, por mencionar algunos.

El estado reducido del hierro (Fe^{2+}), la presencia de mioglobina exclusivamente en sus formas DMb y OMb ocurre a presiones parciales de oxígeno bajas ($p\text{O}_2 \approx 0\text{ mm Hg}$) y presiones de oxígeno superiores a 80 mmHg, respectivamente; pero la forma oxidada MMb predomina en presiones de parciales de oxígeno entre 4 a 7 mmHg (1 a 2% O_2) para después disminuir a medida que aumenta el contenido de oxígeno y la OMb.

Por lo que, una situación común en la carne fresca es la presencia de una delgada zona de decoloración por debajo de la superficie de la masa muscular, por la presencia de MMb entre la capa superficial roja y el interior rojo púrpura de la carne, como resultado de una baja concentración o presión parcial de oxígeno, insuficiente para la formación de OMb. Esta zona de decoloración eventualmente migrará hacia la superficie del producto, dependiendo de múltiples factores como el tipo de empaque, el pH, temperatura de almacén, la carga microbiana y el tiempo.

El empaque tradicional para carne con un film de PVC permite el paso de oxígeno y el desarrollo del color rojo cereza por la presencia de OMb. En sistemas con bajo contenido de oxígeno como en el empackado al vacío, la OMb se transforma rápidamente en DMb a medida que el oxígeno residual es consumido por la propia actividad mitocondrial del tejido muscular que permanece activo aun después de varios días e incluso semanas postmortem (Faustman y Suman, 2017; Ramanathan y Mancini, 2018).

Una alternativa en los sistemas de empaque es el uso de atmósferas modificadas (MAP, por sus siglas en inglés). Los sistemas MAP con alto contenido de oxígeno (80% O_2) favorecen la formación de OMb en la superficie e interior de los cortes, reduciendo la presencia de MMb, aunque se pueden presentar cambios asociados a reacciones de oxidación lipídica. La atmósfera de ultra baja concentración de oxígeno reduce las reacciones de oxidación, pero con el tiempo puede afectar la adecuada formación de oximioglobina, además es necesario inhibir la presencia de metamioglobina asegurando que la concentración de oxígeno residual sea inferior al 1% para carne cerdo y de 0.05% para carne de res. En este caso se promueve la formación de carboximioglobina de color rojo brillante, incorporando al sistema de empaque

entre el 0.2 a 0.5% de monóxido de carbono (CO) (Mancini, 2013). Aunque la presencia de carboximioglobina también puede enmascarar el crecimiento microbiano y otros procesos de deterioro de la carne, ya que mantendrá el color rojo que el consumidor asocia a la carne fresca.

La exposición de la carne a luz visible y UV también afecta la estabilidad del color de la carne, derivado de reacciones de fotooxidación. La luz puede inducir la formación de metamioglobina, así como desnaturalización de la globina. Se recomienda el uso de sistemas de iluminación fluorescente de 2900 a 3750 °K, así como lámparas LED ya que mantienen por más tiempo el color de la carne roja (Boyle, 2015).

Otra alteración común en carne fresca refrigerada es la quemadura por frío que ocurre a consecuencia de la deshidratación superficial del producto acompañado de un oscurecimiento y endurecimiento de la superficie de la carne, para evitar la deshidratación superficial se recomienda siempre empacar la carne en una película impermeable al vapor de agua o colocarla dentro de un recipiente cerrado.

La decoloración también puede atribuirse al contacto con sustancias oxidantes como el peróxido de hidrógeno o el hipoclorito de sodio, que se emplean como sanitizantes de superficies. La producción de peróxidos puede también ser de origen microbiano u originada por reacciones de autooxidación de los tejidos, particularmente en cortes grasos enranciados o almacenados por largo tiempo.

Por otra parte, la contaminación bacteriana y especialmente en niveles cercanos a 10^8 UFC/cm² promueven la formación de metamioglobina en condiciones aeróbicas, probablemente por la reducción de la presión parcial de oxígeno en la superficie de la carne. Sin embargo, el desarrollo de bacterias catalasa negativas capaces de crecer a bajas temperaturas y acumular peróxido de hidrógeno como *Lactobacillus viridiscens*, *Enterococcus faecium*, *Brochothrix thermosphacta* y *Leuconostoc* spp., pueden causar deterioro del color. En general, el desarrollo de estas bacterias se debe a malas prácticas higiénicas, y al almacén del producto en condiciones de abuso en la temperatura de refrigeración superior a los 7°C (Faustman y Suman, 2017).

5.3.4 Medición del color

El sistema de dobles enlaces del grupo hemo es responsable de la absorción de luz y de sus propiedades cromóforas. El color se puede evaluar por diversas técnicas tanto subjetivas como instrumentales. Las primeras consisten en la comparación visual del producto con patrones de color específicos, en tanto que los métodos instrumentales miden la intensidad de la luz absorbida o reflejada por la muestra, estos métodos son más exactos e independientes de la capacidad de percepción del ojo humano.

Este pigmento absorbe entre los 500 a 600 nm, pero cada una de las especies de mioglobina genera un espectro único por lo que pueden diferenciarse espectrofotométricamente. La DMb exhibe un máximo de absorción a 557 nm, la MMb a 503 nm y la OMb presenta dos picos a 542 y 582 nm; la CMb también presenta dos máximos a 543 y 581 nm. Además, los espectros de absorción de todas estas especies presentan un punto de intersección (isobéctico) a 525 nm. Estos valores son empleados en para su cuantificación por métodos espectrofotométricos (Hernández-Salueva y col., 2019).

La determinación del color a través de la espectrofotometría de reflectancia tiene una estrecha correlación con la percepción visual humana. El Comité Internacional de la Iluminación (CIE) estableció un sistema de color universal denominado CIE-LAB basado en la teoría de la percepción tricromática de Young (coordenadas X, Y y Z) así como en la teoría de los colores opuestos. La CIE definió varias fuentes de iluminación normalizadas en función de su curva de distribución espectral y de la temperatura de color, como la iluminación estándar D65 o luz de día. De igual forma se estableció que la iluminación del objeto debe realizarse en un ángulo de 45° y definió un observador estándar complementario situado perpendicularmente a 45.7 cm, de tal manera que el ángulo de visión es de 10°. El espacio de color CIE-LAB es un espacio cromático con coordenadas cilíndricas de luminancia (L^*), chroma o saturación (C^*) y hue o tonalidad (H^*) relacionadas con coordenadas rectangulares a^* y b^* . En el caso particular de la carne roja el valor a^* representa el índice del componente rojo de color y el valor de b^* el índice de amarillo (Hernández-Salueva y col., 2019; Purslow y col., 2020).

Un factor de especial importancia en la evaluación del color de carne fresca es el tiempo de exposición al oxígeno o bloom; ya que el oxígeno

puede migrar de 1 a 12 mm de profundidad, acorde con la presión parcial de oxígeno, la temperatura y el tiempo. Otras fuentes de variación en la velocidad de oxigenación se asocian al tipo de músculo, empaque, actividad reductora, dispersión superficial de la luz y variación en el protocolo de evaluación (Jacob, 2020).

5.4. Terneza

La transformación de músculo a carne involucra una compleja serie de cambios estructurales y bioquímicos en la que la carne alcanza mayor terneza o suavidad, al mismo tiempo que aumenta la intensidad del aroma, sabor y jugosidad como resultado de proteólisis, lipólisis y otras reacciones de oxidación. En la etapa de maduración las enzimas con actividad proteolítica tienen un papel fundamental, ya que inducen cambios en la organización estructural de las miofibrillas, así como la hidrólisis del endomisio y perimisio, ocasionando un debilitamiento gradual de la ultraestructura del tejido muscular con el consecuente ablandamiento de la carne. La terneza de la carne depende de múltiples factores como la localización anatómica y función del músculo, el contenido de tejido conectivo, la edad, género y raza, entre otros. Esta característica es considerada como un parámetro fundamental de calidad e incide directamente el precio de venta, ya que los cortes más suaves son los más apreciados por los consumidores (Hopkins, 2017). Dependiendo de la localización anatómica, los cortes de carne serán más suaves que otros, por ejemplo, los músculos del filete y el lomo son más suaves que aquellos que están en constante actividad como son los del cuello y de las extremidades. Las canales se envejecen o maduran almacenándolas a temperaturas de refrigeración durante un cierto periodo de tiempo posterior a al *Rigor mortis*.

La suavidad de la carne incluye la dureza basal relacionada con el contenido de colágeno, la actividad proteolítica endógena y exógena y el nivel de contracción durante el establecimiento del *Rigor mortis*. La falla en el sistema circulatorio como resultado de la matanza induce la acumulación de ácido láctico y el descenso de pH en el tejido muscular que promueve la activación de sistemas proteolíticos endógenos como las proteasas lisosomales catepsinas (B, D y L), el complejo multicatalítico 20S (MCP) o

proteasoma y las caspasas. Así como el sistema de calpainas (CAPN), que comprende un grupo de proteasas neutras no-lisosomales, dependientes de calcio CAPN1 (μ -calpaina), CAPN2 (m-calpaina), CAPN3 y su inhibidor calpastatina CAST (Lana y Zolla, 2016; Coria y col., 2018). Los cambios en la estructura miofibrilar derivan principalmente de la degradación de costámeros y de los filamentos de titina y nebulina, así como de la fragmentación de los filamentos delgados. Todo esto acompañando de la generación de péptidos, aminoácidos y otros compuestos nitrogenados, que actúan como precursores del aroma y sabor al reaccionar con azúcares solubles a través de reacciones de Maillard durante la cocción (Ponce-Alquicira 2006; Kerth y Miller, 2015). Por otra parte, la degradación de lípidos y los productos secundarios de la oxidación lipídica también reaccionan con péptidos intensificando el sabor cárnico.

Diversos autores han estudiado los cambios en la organización estructural de las miofibrillas, señalando el debilitamiento de la línea Z y de los costameros como factores significativos en el ablandamiento de la carne durante los primeros días post rigor; aunque el debilitamiento del tejido conectivo ocurre lentamente. Por lo que a nivel comercial es común madurar (añejar o acondicionar) la carne por varios días con el fin de mejorar las características de textura y aroma bajo condiciones de temperatura y humedad controladas, que limiten el desarrollo microbiano y otras reacciones de deterioro (Lana y Zolla, 2016).

5.5 Conclusiones

Las características de calidad de carne son diversas y varían acorde con la experiencia y expectativas del consumidor. Las propiedades funcionales de la carne incluyen propiedades como el color, sabor, olor, terneza, capacidad de retención de agua (CRA), así como su habilidad para formar emulsiones y geles. Estas propiedades funcionales dependen de interacciones proteína-agua, proteína-proteína, así como de propiedades de superficie. En particular la calidad organoléptica de la carne fresca depende de las características de jugosidad, color y terneza.

Bibliografía

Belitz H. D., Grosh W. (1999). Food chemistry, 2a Ed. New York, Springer-Verlag. pp180-267.

Boyle E. (2015). Alternatives in retail display lighting. AMSA Reciprocal Meat.

Coria M. S., Carranza P. G., Palma G. A. (2018). Calpain System in meat tenderization: A molecular approach. El Sistema proteolítico calpaina en la tenderización de la carne: Un enfoque molecular. Rev.MVZ Córdoba 23(1):6523-6536, 2018

Djenane D., Roncales P. (2018). Carbon monoxide in meat and fish packaging. Advances and limits. Foods MPDI, 7(12):1-34.

Faustman C., Suman S., (2017). The eating quality of meat: I color. Capítulo 11 en: Lawrie's Meat Science, Elsevier Ltd. 329-356.

Feiner G. (2006). Meat products handbook: Practical science and technology. Woodhead Publishing in Food Science, Technology and Nutrition.

Hernández Salueña B., Sáenz Gamasa C., Diñeiro Rubial J. M., Alberti Odriozola C. (2019). CIELAB color paths during meat shelf life. Meat Science, 157:107889:1-8.

Hopkins D. L. (2017). The eating quality of meat: II tenderness. Capítulo 12 en: Lawrie's Meat Science, Elsevier Ltd. 357-380.

Huff-Lonergan E., Lonergan S. M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. Meat Science, 71:194.

Hughes J. M., Oiseth S.K., Purslow P.P., Warner R. D. (2014). A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness. Meat Science 98 (2014) 520-532.

Hurf-Lonergan W., Lonergan S. M. (2005). Mechanisms of water holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. Meat Science, 71:194-204.

Ijaz M, Li X., Zhang D., Hussain Z., Ren C., Bai Y., Zheng X. (2020). Association between meat color of DFD beef and other quality attributes. *Meat Science*, 161-107954:1-9.

Jacob R. (2020). Implications of the variation in bloom properties of red meat: A review. *Meat Science*, 162:108040-1-8.

Lana A., Zolla L. (2016). Proteolysis in meat tenderization from the point of view of each single protein: A proteomic perspective. *J. of Proteomics*, 1(47):85-97.

Leal-Gutiérrez J., Jiménez-Robajo L. (2014). Análisis in silico de mutaciones puntuales en el gen PRKAG3 bovino asociadas a calidad cárnica. *Archivos de Zootecnia*, 63(241):131-132.

Listrat A., Lebret B., Louveau I., astruc T., Bonnet M., Lefaucheur L., Picard B., Bugeon J., (2016). How muscle structure and composition influence meat and flesh quality. *Hindawi Publishing Corp.* ID3182746, 1-14.

Mancini R. (2013). Meat color. Capítulo 9 en: *The Science of Meat Quality*, Kerth C.R. Ed. Wiley, 177-198. <https://doi.org/10.1002/9781118530726.ch9>.

Mancini R.A., Hunt M.C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71:100-121.

Ponce Alquicira E. (2006). Cambios bioquímicos pre y post-mortem. En: *Ciencia y tecnología de carnes*. Editores Y.H. Hui, I. Guerrero, M. Rosmini. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México, D.F. pp 111-135.

Ponce- Alquicira E. (2004). Poultry: canned turkey ham. Capítulo 24 en *Food processing principles and application*. Editores Smith J.S. y Hui Y.H. Blackwell Publishing, 417-445.

Purslow P.P., Warner R.D., Clarke F.M., Hughes J. M. (2020). Variations in meat color due to factors other than myoglobin chemistry; a synthesis of recent findings. *Meat Science*, 107941:1-9.

Ramanathan R., Mancini R.A. (2018). Role of mitochondria in beef color: A review. *Meat and muscle Biology™*, American Meat Association www.meatandmusclebiology.com (Consulta marzo, 2020).

Ramanathan R., Summan S.P., Faustman C. (2020). Biomolecular interactions governing fresh meat color in postmortem skeletal muscle. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. A-I. Dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.9b08098.

Suman S.P., Joseph P. (2013). Myoglobin chemistry and meat color. *Annual Reviews in Food Science Technology*, 4:79-99.

Warner R.D. (2017). The eating quality of meat -IV water holding capacity and juiciness. Capítulo 14 en: *Lawrie's Meat Science*, Elsevier Ltd. 419-458.

Zeng Z., Li C., Ertbjerg P. (2017). Relationship between proteolysis and water holding of myofibrils. *Meat Science*, 131:48-55.

Zhang M., Wang D., Xu X., Xu W. (2019). Comparative proteomic analysis of proteins associated with water holding capacity in goose muscles. *Food Research International*, 116:354-361.

Capítulo 6.

Valor nutricional de la carne

Jorge Soriano Santos

6.1 Introducción

La composición nutricional o nutrimental se refiere al contenido de aquellos compuestos bioquímicos contenidos en los alimentos, los cuales son vitales para el óptimo desarrollo del ser humano; algunos de ellos proporcionan además energía. Los nutrientes o nutrimentos tienen esencialmente la función de mantener la vida y el desarrollo. Entre estos biocompuestos se incluyen los micronutrientes y los macronutrientes. Los micronutrientes son aquellos biocompuestos que requiere el cuerpo en pequeñas cantidades p. ej.: vitaminas y minerales. Por su parte, los macronutrientes son aquellos que, por el contrario, el cuerpo humano los requiere en grandes cantidades; estos comprenden los carbohidratos, lípidos, proteínas, fibra y agua (Kihara y col., 2017).

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana, NOM-009-ZOO-1994, Proceso Sanitario de la Carne, se define como carne a la estructura compuesta por fibra muscular estriada, acompañada o no de tejido conjuntivo elástico, grasa, fibras nerviosas, vasos linfáticos y sanguíneos, de las especies animales autorizadas para el consumo humano. Estas especies incluyen, principalmente, animales bovinos, porcinos, ovinos, caprinos y aves.

La carne es, entre otros, un alimento importante para la dieta humana. Es fuente de varios nutrientes, en especial, de proteínas de alto valor biológico por su contenido de aminoácidos esenciales presente en las cantidades requeridas para satisfacer las necesidades nutrimentales del ser humano. Y de minerales como el hierro biodisponible, selenio, zinc y vitaminas del complejo B, especialmente vitamina B12. Por ejemplo, la carne de hígado es fuente de vitamina A y ácido fólico (Biesalski, 2005). Las carnes rojas contienen lípidos o grasas que contienen principalmente ácidos grasos saturados, aunque también está presente el ácido linoleico conjugado, el cual es insaturado y se conoce que da beneficios importantes a la salud humana. Por el contrario, la carne blanca, en comparación a la carne roja, contiene menor cantidad de ácidos grasos saturados, y por lo tanto, una mayor concentración de ácidos grasos insaturados. Al igual que la carne roja, también es una fuente de proteínas de alto valor nutritivo, las cuales contienen el 40% de aminoácidos esenciales (Kim y col., 2017).

6.2 Carbohidratos

Los carbohidratos en músculo se encuentran en muy bajas concentraciones, siendo el hígado de los animales la principal fuente de ellos. En este órgano se encuentra cerca del 50% de todos los carbohidratos presentes en el cuerpo. En el hígado y músculos los carbohidratos se encuentran almacenados en forma del polímero de glucosa llamado glucógeno. En sangre el principal carbohidrato presente es la glucosa. Desde el punto de vista nutricional, la carne no es una fuente de carbohidratos, sin embargo, desde el punto de vista tecnológico, el glucógeno es importante porque tiene un impacto indirecto en el color, la textura, la terneza y la capacidad de retención de agua en la carne. Cuando se requiere glucosa el glucógeno almacenado se convierte a este azúcar, el cual se transforma a ácido láctico a través de la acción de hormonas y enzimas (Jensen y col., 2011). Durante los primeros estados de maduración, el contenido de ácido láctico en los músculos se incrementa disminuyendo el pH. El pH normal de músculo se considera alrededor de 5.6. Si el animal sufre de estrés severo, justo antes de la matanza, el glucógeno se puede convertir a ácido láctico (pH=6.5); de esta manera se obtiene una carne oscura, firme y seca. Esta apariencia de oscurecimiento afecta negativamente en las propiedades nutritivas y sensoriales de la carne. Por otro lado, si el pH del músculo *postmortem* cae a 5.5 se obtiene una carne pálida, suave y exudativa, lo cual sucede con mayor frecuencia en la carne de cerdo. (Karunanayaka y col., 2016).

6.3 Proteína y valor nutritivo de las proteínas

La carne, principalmente la roja, es una de las principales fuentes de proteína para la dieta humana. De acuerdo con las Tablas de Composición de Alimentos y Productos Alimenticios Mexicanos (versión condensada 2015), el contenido promedio de proteína, en la carne, es del 22%. Sin embargo, puede variar en un rango de aproximadamente del 12% al 34.5% para las diferentes especies y productos cárnicos (Tabla 6.1).

Tabla 6.1. Contenido de proteínas en diferentes especies
(Muñoz de Chávez y Ledesma-Solano, 2006; INGMNSZ, 2015)

Carne	Proteína cruda g/100 g
Borrego, carne grasosa	15.60
Borrego, carne semigrasosa	18.20
Borrego, carne magra sin hueso	19.00
Ovinos carne magra con hueso	15.00
Pavo crudo completo	22.80
Pollo entero sin hueso sin piel	15.80
Pollo promedio	18.60
Porcinos, carne	18.60
Porcinos promedio (lomo, espaldilla y costilla)	16.70
Porcinos, carne semigrasosa	28.80
Porcinos, carne magra	19.80
Res, carne grasosa con hueso	16.00
Res, carne semigrasosa	18.30
Res, carne magra	20.90

Las proteínas de la carne se distinguen, de otros alimentos en la dieta humana, por su contenido de aminoácidos esenciales (AAE; Tabla 6.2), es decir, aquellos aminoácidos que el organismo humano no puede sintetizar, de tal forma que es necesario adquirirlos a través de la dieta diaria (Williams, 2007). Con el contenido de aminoácidos esenciales, se puede calcular el valor nutritivo de las proteínas de los alimentos, a través del valor conocido como “cuenta de aminoácidos corregido por la digestibilidad de la proteína” o por sus siglas en inglés PDCAAS (*Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score*). Para el cual, en primer lugar, se calcula el score químico para determinar el aminoácido limitante de la proteína utilizando la fórmula:

Posteriormente, se corrige el valor de score químico calculado con base al aminoácido esencial limitante y se corrige por el valor de la digestibilidad verdadera de la proteína:

Tabla 6.2. Aminoácidos esenciales y patrón de referencia FAO/WHO para niños de 2 a 5 años

Aminoácido esencial	mg/g proteína
Histidina	19
Isoleucina	28
Leucina	66
Lisina	58
Metionina + Cisteína	25
Fenilalanina + Tirosina	63
Treonina	34
Triptófano	11
Valina	35

De este modo el valor nutritivo de las proteínas de la carne, así evaluado, es de 0.92. Si se toma en consideración que el valor de PDCAAS para el huevo es de 1.0. Lo anterior significa que la albúmina de huevo tiene un excelente balance de AAE que satisface las necesidades diarias, particularmente, de niños de 2 a 5 años (Tabla 6.2); tal y como lo establece el patrón de aminoácidos esenciales establecido por la FAO/WHO (1991). Entonces, el valor de PDCAAS=0.92 para la carne, significa que cubre casi la totalidad de las necesidades diarias de AAE del ser humano (Tabla 6.3). Las proteínas de la carne, además, tienen una excelente digestibilidad, la cual es mayor al 90%. En contraste a la baja digestibilidad de las fuentes proteínicas vegetales como el frijol, las lentejas y chícharos (aprox. 60%), lo cual da valores bajos de PDCAAS en un rango de 0.57 a 0.71. Un ejemplo de una proteína de muy bajo valor nutritivo sería el gluten con un valor de PDCAAS de solo 0.25 (FAO/WHO, 1991).

Tabla 6.3. Perfil de aminoácidos (g/16 g N) de carne de diferentes especies (Beach y col., 1943)

Carne	Arginina	Histidina	Lisina	Fenilalanina	Tirosina	Triptófano	Serina	Treonina	Cistina	Metionina
Borrego	7.59	2.37	8.68	4.47	4.89	1.44	6.29	5.28	0.99	3.28
Cerdo	6.62	2.16	8.65	3.95	4.41	1.31	4.57	4.61	0.99	3.22
Pollo	6.91	2.34	8.44	3.85	4.23	1.30	4.72	4.66	0.82	3.35
Res	6.91	2.25	8.11	4.92	4.30	1.35	5.43	4.57	0.94	3.11

6.4 Lípidos

El contenido de grasa difiere significativamente entre la carne de diferentes especies. También es importante señalar que el contenido de grasa difiere entre los diferentes cortes como, por ejemplo, el corte de lomo de cerdo o de res es el que contiene menos grasa en la canal, mientras que en las aves es la pechuga. Lo anterior se debe a los sistemas de producción de la carne y características como peso, sexo y el tipo de dieta, que definitivamente están relacionados con la cantidad y composición de la grasa en la carne (De la Fuente y col., 2009). Varios estudios demuestran que el perfil de ácidos grasos de la carne puede manipularse por la alimentación que recibe el animal. Por ejemplo, se han encontrado grandes diferencias entre animales alimentados con pastura y con granos. Los animales alimentados con pastura tienen en su carne mayor concentración de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) (Lourenço y col., 2008).

En la Tabla 6.4 se observa el contenido de grasa de carne de diferentes especies. La carne de borrego, cerdo y res contienen la mayor cantidad de grasa. De todas las especies la carne de pavo contiene la menor cantidad de grasa con solo el 3.4%. La USDA reporta valores de 5.4 a 7.9% de grasa para diferentes cortes de carne de res (USDA, 2011). Por su parte, la carne magra de cerdo se reporta que contiene del 8 al 10.7% de grasa (USDA, 2011). La piel es la principal fuente de grasa en la carne de pollo (Tabla 6.4). Se han reportado valores entre 1 a 15% de grasa en cortes de carne de pollo y pavo sin piel. Si se considera la piel los valores de grasa aumentan. La pechuga de pollo y pavo tienen valores de grasa similares, pero las piernas de pavo tienden a ser más grasosas que las de pollo (INSRJ, 2006).

Tabla 6.4. Contenido de grasa y ácidos grasos en diferentes especies (Muñoz de Chávez y Ledesma-Solano, 2006; INCMNSZ, 2015)

Carne	Grasa g/100 g	AGS g/100 g	AGM g/100 g	AGPI g/100 g	Colesterol mg/100 g
Borrego, carne grasosa	25.00	15.00	9.00	1.00	71
Borrego, carne semigrasosa	19.40	12.00	7.00	1.00	71
Borrego, carne magra sin hueso	6.10	4.00	2.00	0.01	65
Ovinos carne magra con hueso	6.50	1.88	2.11	0.48	65
Pavo crudo completo	3.40	2.20	2.76	1.93	78
Pollo entero sin hueso sin piel	18.00	4.31	6.24	3.23	54
Pollo promedio	15.10	4.31	5.17	2.88	75
Porcinos, carne	14.3	1.95	2.56	0.61	59
Porcinos promedio (lomo, espaldilla y costilla)	22.60	8.17	9.59	2.09	98
Porcinos, carne semigrasosa	14.90	5.15	6.14	1.29	94
Porcinos, carne magra	13.20	4.28	5.08	1.08	65
Res, carne grasosa con hueso	25,40	12.14	11.16	0.62	74
Res, carne semigrasosa	19.80	8.46	7.37	0.49	69
Res, carne magra	6.30	2.45	2.40	0.20	62

6.5 Composición de ácidos grasos

La composición de ácidos grasos de la grasa intramuscular de la carne no solo afecta su valor nutritivo sino también las propiedades sensoriales (Oliver y col., 2006). Las diferencias en la composición de ácidos grasos de carne de res de animales alimentados principalmente con dietas a base de granos y pastos han determinado que el ganado alimentado con este alimento presenta niveles mayores de ácidos grasos poliinsaturados n-3 y ácidos grasos monoinsaturados (AGMI); esto es en comparación a animales alimentados con concentrados alimenticios, el cual, a su vez, tienen mayores niveles de AGPI n-6 (Enser y col., 1998). La raza y el sexo de los animales también tienen efecto sobre la composición de ácidos grasos y los cambios en la composición de ácidos grasos (Zembayashi y col., 1995). Desde el punto de vista sensorial, altos niveles de AGPI pueden producir alteraciones en el sabor

de la carne, debido a su susceptibilidad a la oxidación y a la producción de compuestos volátiles por la descomposición de los hidroperóxidos que se forman durante la primera etapa de la autooxidación de AGPI, sobre todo durante el cocimiento (Wood y col., 1999). Para evitar la autooxidación de lípidos, el tejido muscular debe contener una concentración mínima de antioxidantes, como la vitamina E, la cual retarda la autooxidación de ácidos grasos y la formación de meta-mioglobina (Schwarz y col., 1998).

Desde el punto de vista de la salud humana, la carne es un alimento importante que integra la dieta, de tal forma que se han realizado estudios para mejorar la composición de ácidos grasos, especialmente en la carne de res. Se sabe que las características digestivas intrínsecas de los rumiantes afectan la composición de ácidos grasos de la carne. Las enzimas microbianas del rumen promueven isomerización e hidrólisis de ácidos grasos insaturados lo que provoca un incremento en la concentración de ácido esteárico. En carne de res es posible encontrar ácidos grasos con isomería geométrica trans, los cuales se forman como resultado de la biohidrogenación de los ácidos grasos que llevan a cabo las bacterias del rumen. El ácido graso trans más común encontrado en carne de res es el ácido linoleico conjugado (ALC) que tiene efectos benéficos a la salud como coadyuvantes en el tratamiento de enfermedades cardiovasculares, diabetes y prevención de la obesidad (Dilzer y Park, 2012). Sin embargo, la cantidad presente de ALC es pequeña, alrededor de 1 g/100 de grasa de carne de res (Droulez y Levy, 2006). French y col. (2000) encontraron que la inclusión de pastura en las dietas de novillos incrementa la proporción de ALC. El sistema de producción puede, entonces, manipularse de tal forma que se modifique la composición de ácidos graso en el músculo y de esta forma se pueda mejorar el balance nutritivo de la carne.

Los AGPI presentes en la carne son ácido linoleico (AL, n-6) y ácido α -linolénico (AAL, n-3), los cuales son conocidos como ácidos graso esenciales debido a que no pueden ser sintetizados por el tejido humano. La carne también contiene pequeñas cantidades de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga n-3 como el ácido eicosapentaenoico (AEP), ácido docosapentaenoico (ADP) y ácido docosahexaenoico (ADH), los cuales tienen beneficios potenciales en relación a la salud del corazón (Lauritzen, Hansen, Jorgensen y Michaelsenm, 2001).

6.6 Vitaminas y minerales

La carne es una excelente fuente de vitaminas y minerales. Por ejemplo, 100 g de carne roja proporciona cerca del 25% del consumo dietético diario recomendado para el humano de riboflavina, niacina, vitamina B₆ y ácido pantoténico, y prácticamente el 75% de vitamina B12 (Williams, 2007). En aves de corral, 100 g de pechuga de pollo proporciona el 56% de los requerimientos dietéticos diarios, de niacina y el 27% de vitamina B6. Mientras que, la pechuga de pavo proporciona el 31% de niacina y el 29% de vitamina B6 (USDA, 2011). Sin embargo, es importante considerar la influencia de las técnicas de cocinado sobre el contenido de vitaminas y elementos traza considerando que el humano rara vez consume carne cruda. Algunos estudios han demostrado que la cocción en general produce pérdidas significativas de vitaminas del complejo B (Lombardi-Boccia y col., 2005). Las vitaminas del complejo B que más se afectan son la vitamina B12 y la tiamina en comparación con la riboflavina y el niacina, que muestran disminuciones más bajas (D'Evoli y col., 2009). Estas pérdidas podrían deberse a dos fenómenos, por un lado, las vitaminas del complejo B son solubles en agua, por lo que algunos métodos de cocción (ebullición) pueden producir mayores pérdidas y, por otro lado, las vitaminas B son inestables térmicamente, por lo tanto, períodos más cortos de cocción (fritura) y los asados poco hechos pueden reducir estas pérdidas (Lombardi-Boccia y col., 2005). La carne roja contiene vitaminas, en cantidades importantes, las cuales se requieren para mantener la salud humana (Williamson y col., 2005). Particularmente, la carne roja contiene vitaminas del complejo B como la tiamina, riboflavina, ácido pantoténico, ácido fólico, niacina, vitamina B6 y vitamina B12 (Chan y col., 1995). La carne es muy buena fuente de vitamina B12. De hecho, la carne roja puede suministrar el 50% de los requerimientos de vitamina B12. La carne también contiene vitaminas A, D, E y C (Bourre, 2011). La vitamina A contribuye a la estabilización de las membranas, visión normal, desarrollo de huesos, división y diferenciación celular. La vitamina A y los carotenoides, como el β -caroteno, participan con otros micronutrientes (vitaminas E, C y selenio) en la protección de tejidos, en particular el tejido nervioso, de agresiones de radicales libres. La vitamina D es esencial para el desarrollo y mantenimiento de huesos y colágeno. La carne es fuente de vitaminas E, D y carotenos (Insani y col., 2008). De hecho, los sistemas de alimentación basados en pasturas

produjeron carne de la raza Hereford con altos niveles de β -carotenos (0,45 $\mu\text{g/g}$) en relación con los producidos con concentrados alimenticios (0,06 $\mu\text{g/g}$) (Insani y col., 2008). El enriquecimiento con β -caroteno de la carne podría deberse a la cantidad de β -carotenos presentes en la pastura (Daley y col., 2010). La incorporación de los β -carotenos en diferentes músculos depende de la raza, la dieta y el tipo de músculo (Descalzo y col., 2005). También el α -tocoferol se encuentra en grandes cantidades en la carne producida de animales alimentados con pastura en comparación a la carne de animales alimentados con concentrados. En carne de res de Sudamérica producida con pastura se ha visto que es buena fuente de β -carotenos (45-78 $\mu\text{g}/100\text{ g}$), vitamina C (2500 $\mu\text{g}/100\text{ g}$) y α -tocoferol (210-460 $\mu\text{g}/100\text{ g}$).

Por su parte, la carne es una de las mejores fuentes de zinc, selenio, fósforo e hierro. 100 g de corte de carne de res magra proporciona alrededor del 37% de selenio, 26% de zinc y el 20% de potasio (USDA, 2011). El hierro que contiene la carne se conoce como hierro hemo. Este hierro incluso cuando se consume en pequeñas cantidades, es dos a tres veces más biodisponible y se absorbe de 15 a 35% más fácilmente (Turhan y col., 2004). La carne es probablemente la mejor fuente de hierro hemo. En varios estudios se ha reportado que su contenido de hierro hemo es del 26.2 a 75.60%. La carne de res tiene el mayor contenido de hierro hemo, el lomo de res en promedio puede contener el 58.10% (Lombardi-Boccia y col., 2002). El contenido de hierro y hierro hemo es baja en carnes de pollo, la cual es de alrededor de 26.15%. El contenido de hierro total y el hierro hemo, en general, son más bajos que los de carne de res (Clark, Mahoney y Carpintero, 1997). La carne de cerdo tiene valores intermedios entre la carne de res y el pollo. En contenido de hierro hemo en lomo de cerdo puede variar desde 38% hasta 60% (Lombardi-Boccia y col., 2002). La carne y los productos cárnicos pueden contribuir hasta el 18% de los requerimientos diarios de hierro (Geissler y Singh, 2011).

6.7 Carne y salud humana

La gran mayoría de las percepciones sobre el consumo de carne roja es que, si bien, proporciona proteínas de muy alta calidad nutritiva, así como ser una rica fuente de hierro, también se le asocia al padecimiento de varias

enfermedades. Es en este sentido que la Organización Mundial de la Salud ha clasificado a los productos cárnicos en dos grupos. El primero se refiere a aquellos productos cárnicos procesados que son carcinogénicos para el humano y el segundo grupo involucra carne roja fresca que es potencialmente carcinogénica. La evidencia más contundente es para la relación que existe entre el consumo de proteína de origen animal y la aparición de cáncer de colon. Un consumo frecuente y elevado de carne roja (res y cerdo) y carnes procesadas como el jamón, carnes ahumadas, salchichas y tocino se han correlacionado con un incremento en el riesgo de padecer cáncer de colon. Sin embargo, hasta el momento no hay una conclusión contundente sobre la correlación entre el consumo de carne, en grupos de varias edades, con el padecimiento de enfermedades, principalmente, del corazón y cerebrales (WHO, 2015).

La carne roja se ha asociado durante mucho tiempo a un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares debido a que su consumo incrementa los niveles de colesterol y grasa saturadas en sangre. Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que la carne roja no aumenta significativamente el riesgo cardiovascular cuando se consume como carne roja magra en cantidades recomendadas. De otra manera, la grasa visible en la carne y los conservadores que se utilizan en diversos productos cárnicos si pueden aumentar el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, especialmente si se consumen diariamente (WHO, 2015).

La composición de ácidos grasos de la carne tiene grandes implicaciones en la salud humana. Se sabe que existe una correlación entre las dietas altas en grasa y las enfermedades del corazón. Kennedy y col. (2009) han propuesto que un consumo excesivo de AGS puede inducir mayor formación de tejido adiposo e hipertrofia. Este fenómeno puede producir la liberación de proteínas inflamatorias como las citoquinas y quimioquinas, las cuales inducen inflamación y resistencia a la insulina y de esta manera se incrementa el riesgo de padecer enfermedades del corazón y síndrome metabólico (Haffner, 2006). Por lo tanto, hay un interés creciente de los consumidores por conocer el contenido de grasa, así como, su composición de ácidos grasos (Scollan y col., 2006). Desde el punto de vista de la nutrición es recomendable limitar el consumo de grasa, así como grandes cantidades de AGPI, especialmente los n-6 en lugar de los n-3 (Simopoulos, 2002). El ácido linoleico conjugado

forma parte de un conjunto de ácidos grasos, presentes de manera natural en alimentos derivados de rumiantes, a los cuales se le atribuyen varios efectos benéficos a la salud (Williams, 2000). Una carne con altas concentraciones de ácido esteárico puede convertirse, por el metabolismo humano, en ácido oleico, el principal ácido graso monoinsaturado en el aceite de oliva cuyo consumo se ha asociado con varios beneficios para la salud (Covas, 2007; Pérez-Jiménez y col., 2005). Dentro de los AGPIs, los ácidos grasos n-3 merecen una atención especial considerando su reconocido papel protector en enfermedades cardiovasculares y promoción de la salud en general (Calder y Yaqoob, 2009; Lavie y col., 2009). Los mariscos son la principal fuente de ácidos grasos n-3. Sin embargo, la carne puede contribuir hasta un 20% de la ingesta de ácidos grasos poliinsaturados n-3 de cadena larga (Russo, 2009). El contenido de AGPI n-3 en la carne depende principalmente del sistema de alimentación del animal y es más alto en dietas basadas en pasto o forraje (Nuernberg y col., 2005). Debido a sus efectos antitrombóticos, la presencia de ácidos grasos n-3 en la carne podría contrarrestar en parte el efecto protrombótico de los ácidos grasos n-6. La carne es una importante fuente de ácido araquidónico, un ácido graso n-6 poliinsaturado que aumenta el riesgo de trombosis (Christophersen y Haug, 2011). El ácido araquidónico es el precursor del tromboxano A₂ que comienza la agregación de la placa, el principal fenómeno en el desarrollo de coágulos sanguíneos conocido como trombosis (Gabrielsen y col., 2010). Teniendo en cuenta estos datos, es relevante considerar las controversias sobre el consumo de carne y el riesgo de enfermedad. Algunos estudios revisados por Micha, Wallace y Mozaffarian (2010) han distinguido la influencia de los cortes de carne de productos cárnicos procesados en la enfermedad cardiovascular, señalando la necesidad de considerar las técnicas de procesamiento y la cocción como variables importantes que podrían influir en el resultado final y contribuir a la mala imagen de la carne. Los hallazgos de Roussel y col. (2012) mostraron que el consumo de 113 a 153 g de carne magra / día es recomendable para integrar una dieta saludable que no propicia la aparición de enfermedades del corazón. Se están desarrollando nuevos paradigmas de tratamiento para la prevención de enfermedades basados en el consumo de carne magra (Winett y col., 2014).

El hierro tiene un papel crucial en la salud humana y la deficiencia de hierro conduce a un deterioro de varias funciones biológicas, así como alteraciones en el crecimiento y desarrollo infantil (Lozoff y Georgieff, 2006). Su metabolismo es distinto de otros minerales. La dieta juega un papel esencial para mantener el balance de hierro (Hurrell y Egli, 2010). El hierro se puede encontrar en una amplia variedad de alimentos, sin embargo, está presente en dos diferentes formas: hierro hemo y hierro no hemo. A pesar de su papel vital en el cuerpo humano, una ingesta excesiva de hierro puede ser peligrosa. Las dosis altas de hierro pueden dañar la mucosa intestinal y causar toxicidad sistémica (Mills y Curry, 1994). Este exceso también puede inducir daño por radicales libres en varios tejidos circundantes (McCord, 1998). Recientemente, varios estudios han asociado ingestas de hierro muy altas con un mayor riesgo de cáncer colorrectal (Balder y col., 2006), enfermedad cardiovascular (Qi, van Dam, Rexrode y Hu, 2007), infección (Kontoghiorghes y col., 2010), enfermedades neurodegenerativas e inflamación (Thompson, Shoham y Connor, 2001).

Otra enfermedad asociada a un alto consumo de carne roja es la gota. Esta enfermedad es una artritis inflamatoria muy dolorosa causada por la acumulación de cristales de ácido úrico en las articulaciones. El ácido úrico se forma a partir del rompimiento de compuestos nitrogenados conocidos como purinas. El ácido úrico normalmente se disuelve en la sangre y pasa a través de los riñones a la orina. En pacientes con gota, el ácido úrico forma cristales que se acumulan alrededor de las articulaciones causando hinchamiento y dolor intenso. Las dietas con alto contenido de carnes rojas y alimentos marinos pero bajas en alimentos lácteos incrementan significativamente el riesgo de esta enfermedad (Ragab y col., 2017).

6.8 Conclusión

La carne contiene nutrientes que pueden contribuir a satisfacer los requerimientos diarios del ser humano en diferentes etapas de desarrollo a lo largo de su vida. La información científica disponible indica que el valor nutritivo de la carne puede contribuir a la prevención de diversas enfermedades producidas por deficiencia de algunos nutrientes como proteínas y Fe, principalmente. En este sentido es recomendable incluir a la carne como parte

de los alimentos que integran una dieta correcta tal y como lo establece la NOM-043-SSA2-2006 Servicios Básicos de Salud, Promoción y Educación para la Salud en Materia Alimentaria. Criterios para Brindar Orientación. En este último documento, la carne pertenece al grupo de “Leguminosas y Alimentos de Origen Animal” donde la recomendación es consumir carne en cantidades moderadas a lo largo de la dieta diaria. Los aminoácidos esenciales que contienen sus proteínas son altamente benéficos para mantener el desarrollo, especialmente en niños, y para la conservación de la masa muscular en los seres humanos. Sin embargo, debe tenerse especial atención en la cantidad de carne que debe consumirse y sujetarse al respecto a los lineamientos establecidos en la NOM-043-SSA2-2006, un consumo inadecuado de carne puede contribuir al desarrollo de enfermedades cardiovasculares. En cuanto a las vitaminas y minerales contenidas en la carne se reconoce como una de las principales fuentes de Fe hemo en la dieta, así como su importante aporte de vitaminas del complejo B que pueden contribuir a la prevención de diferentes enfermedades provocadas por la carencia de estos nutrientes. Hasta el momento no hay una conclusión contundente sobre la correlación entre el consumo de carne, con el padecimiento de enfermedades como el cáncer de colon y principalmente enfermedades cardiovasculares y cerebrales.

Bibliografía

Balder, H. F., Vogel, J., Jansen, M. C. J. F., Weijenberg, M. P., van den Brandt, P. A., Westenbrink, S., van der Meer, R. (2006). Heme and chlorophyll intake and risk of colorectal cancer in the Netherlands cohort study. *Cancer epidemiology, biomarkers and prevention: a publication of the American Association for Cancer Research, cosponsored by the American Society of Preventive Oncology*. *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention*, 15(4), 717-25.

Biesalski, H. K. (2005). Meat as a component of a healthy diet are there any risks or benefits if meat is avoided in the diet? *Meat Science*, 70(3), 509-524.

Bourre, J. M. (2011). Reintroducing beef in a balanced diet. *Bulletin Académie Vétérinaire de France*, 164, 237-244.

Calder, P. C., Yaqoob, P. (2009). Omega-3 polyunsaturated fatty acids and human health outcomes. *BioFactors (Oxford, England)*, 35(3), 266-272.

Chan, W., Brown, J., Church, S. (1995). Meat, poultry and game. Supplement to McCance and Widdowson's the composition of foods. London: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.

Christophersen, O. A., Haug, A. (2011). Animal products, diseases and drugs: a plea for better integration between agricultural sciences, human nutrition and human pharmacology. *Lipids in Health and Disease*, 10(1), 16.

Clark, E. M., Mahoney, A. W., Carpenter, C. E. (1997). Heme and total iron in ready-to-eat chicken †. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(1), 124-126.

Covas, M. I. (2007). Olive oil and the cardiovascular system. *Pharmacological research: the official journal of the Italian Pharmacological Society*, 55(3), 175-186.

Daley, D. A., Abbott, A., Doyle, P.S., Nader, G. A., Larson, S. (2010). A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain fed beef. *Nutrition Journal*, 9, 1-12.

Descalzo, A.M., Sancho, A.M. (2008). A review of natural antioxidants and their effects on oxidative status, odor and quality of fresh beef produced in Argentina. *Meat Science*, 79, 423-436.

D'Evoli, L., Salvatore, P., Lucarini, M., Nicoli, S., Aguzzi, A., Gabrielli, P., Lombardi-Boccia, G. (2009). Nutritional value of traditional Italian meat-based dishes: influence of cooking methods and recipe formulation. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(Suppl. 5), 38-49.

De la Fuente, J., Díaz, M.T., Álvarez, I., Oliver, M.A., Font, I., Furnols, M., Sañudo, Campo, M.M., Montossi, F., Nute, G.R, Cañeque, V. (2009). Fatty acid and vitamin E composition of intramuscular fat in cattle reared in different production systems. *Meat Science* (3):331-3317.

Dilzer, A., Park, Y. (2012). Implication of conjugated linoleic acid (CLA) in human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(6), 488-513.

Droulez, V., Levy, G. (2006). Composition of Australian red meat 2002. 2. Fatty acid profile. *Word Journal of The International Linguistic Association*, 58(7), 335-341.

Enser, M., Hallett, K. G., Hewitt, B., Fursey, G. A., Wood, J. D., Harrington, G. (1998). Fatty acid content and composition of SUP1 beef and lamb muscle in relation to production system and implications for human nutrition. *Meat Science*, 49, 329-341.

FAO/WHO/UNU (1991). Protein Quality Evaluation, Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation. Rome: FAO Food and Nutrition Paper No. 51.

Gabrielsen, A., Qiu, H., Bäck, M., Hamberg, M., Hemdahl, A. L., Agardh, H., Folkersen, L., Swedenborg, J., Hedin, U., Paulsson-Berne, G., Haeggström, J.Z. Hansson, G.K. (2010). Thromboxane synthase expression and thromboxane A2 production in the atherosclerotic lesion. *Journal of molecular medicine* (Berlin, Germany), 88(8), 795-806.

Geissler, C., Singh, M. (2011). Iron, meat and health. *Nutrients*, 3(3), 283-316.

Haffner, S. M. (2006). The metabolic syndrome: inflammation, diabetes mellitus, and cardiovascular disease. *The American Journal of Cardiology*, 97(2A), 3A-11A.

Hallberg, L., Hulthén, L. (2000). Prediction of dietary iron absorption: an algorithm for calculating absorption and bioavailability of dietary iron. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71(5), 1147-1160.

Hurrell, R., Egli, I. (2010). Iron bioavailability and dietary reference values 1-4. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 91, 1461S-1467S.

INCMNSZ. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zúñiga. (2015). *Tablas de Composición de Alimentos y Productos Alimenticios Mexicanos (Versión condensada 2015)*. Pag. 435-473.

Insani, E. M., Eyherabide, A., Grigioni, G., Sancho, A.M., Pensel, N. A., Descalzo, A.M. (2008). Oxidative stability and its relationship with natural antioxidants during refrigerated display of beef produced in Argentina. *Meat Science*, 79, 444-452.

INSRJ (2006). *Tabela de Composição de Alimentos*. Lisbon.

Jensen, J, Rustad, PI, Kolnes, AJ, Lai, YC. (2011). The role of skeletal muscle glycogen breakdown for regulation of insulin sensitivity by exercise. *Frontiers in Physiology*, 30(2);112.

Karunanayaka, DS, Jayasena, DD, Jo, C. (2016). Prevalence of pale, soft and exudative (PSE) condition in chicken meat used for commercial meat processing and its effect on roasted chicken breast. *Journal of Animal Science and Technology*, 58(1):27.

Kennedy, A., Martinez, K., Chuang, C., Lapoint, K., Mcintosh, M. (2009). Saturated fatty acid-mediated inflammation and insulin resistance in adipose tissue. *Mechanisms of Action and Implications*, 1, 1-4.

Kihara, J, Sileshi, GW, Nziquheba, G, Kinyua, M, Zingore, S, Sommer, R. (2017). Application of secondary nutrients and micronutrients increase crop yields in sub-Saharan Africa. *Agronomy for Sustainable Development*. 37(4), 25.

Kim, H, Do, HW, Chung, H. (2017). A Comparison of the Essential Amino Acid Content and the Retention Rate by Chicken Part according to Different Cooking Methods. *Korean Journal of Food Science and Animal Resource*. 37(5): 626-634.

Kontoghiorghes, G. J., Kolnagou, A., Skiada, A., Petrikkos, G. (2010). The role of iron and chelators on infections in iron overload and non iron loaded conditions: prospects for the design of new antimicrobial therapies. *Hemoglobin*, 34(3), 227-239.

Lauritzen, L., Hansen, H. S., Jorgensen, M. H., Michaelsen, K. F. (2001). The essentiality of long chain n-3 fatty acids in relation to development and function of the brain and retina. *Progress in Lipid Research*, 40(1-2), 1-94.

Lozoff, B., Georgieff, M. K. (2006). Iron deficiency and brain development. *Seminars in Pediatric Neurology*, 13(3), 158-165.

Lavie, C. J., Milani, R. V., Mehra, M. R., Ventura, H. O. (2009). Omega-3 polyunsaturated fatty acids and cardiovascular diseases. *Journal of the American College of Cardiology*, 54(7), 585-594.

Lombardi-Boccia, G., Ginevra, L., Lanzi, S., Aguzzi, A. (2005). Aspects of meat quality: Trace elements and B vitamins in raw and cooked meats. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(1), 39-46.

Lombardi-Boccia, G., Martinez-Dominguez, B., Aguzzi, A. (2002). Total heme and non-heme iron in raw and cooked meats. *Journal of Food Science*, 67(5), 1738-1741.

Lozoff, B., Georgieff, M. K. (2006). Iron deficiency and brain development. *Seminars in Pediatric Neurology*, 13(3), 158-165.

Lourenço, M., Van Ranst, G., Vlaeminck, B., De Smet, S., Fievez, V. (2008). Influence of different dietary forages on the fatty acid composition of rumen digesta as well as ruminant meat and milk. *Animal Feed Science and Technology*, 145(1-4), 418-437.

McCord, J. M. (1998). Iron, free radicals, and oxidative injury. *Seminars in Hematology*, 35(1), 5-12. (Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9460805>)

Micha, R., Wallace, S. K., Mozaffarian, D. (2010). Red and processed meat consumption and risk of incident coronary heart disease, stroke, and diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. *Circulation*, 121(21), 2271-2283.

Mills, K. C., Curry, S. C. (1994). Acute iron poisoning. *Emergency Medicine Clinics of North America*, 12(2), 397-413. (Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8187690>)

Nuernberg, K., Dannenberg, D., Nuernberg, G., Ender, K., Voigt, J., Scollan, N. D., Wood, J.D., Nute, G.R., Richardson, R.I. (2005). Effect of a grass-based and a concentrate feeding system on meat quality characteristics and fatty acid composition of longissimus muscle in different cattle breeds. *Meat Science*, 94, 137-147.

Oliver, M. A., Nute, G. R., Font i Furnols, M., San Julián, R., Campo, M. M., Sañudo, C., Cañeque V, Guerrero L, Alvarez I, Díaz MT, Branscheid W, Wicke M, Montossi F. (2006). Eating quality of beef, from different production systems, assessed by German, Spanish and British consumers. *Meat Science*, 74, 435-442.

Muñoz de Chávez, M, Ledesma-Solano, J.A. (2006). *Tablas de Valor Nutritivo de Alimentos*. Edición Internacional. Mc.Graw-Hill Interamericana. Pag. 88-100.

Perez-Jimenez, F., Alvarez de Cienfuegos, G., Badimon, L., Barja, G., Battino, M., Blanco, A., Bonanome A, Colomer R, Corella-Piquer D, Covas I, Chamorro-Quiros J, Escrich E, Gaforio JJ, Garcia Luna PP, Hidalgo L, Kafatos A, Kris-Etherton PM, Lairon D, Lamuela-Raventos R, Lopez-Miranda J, Lopez-Segura F, Martinez-Gonzalez MA, Mata P, Mataix J, Ordovas J, Osada J, Pacheco-Reyes R, Perucho M, Pineda-Priego M, Quiles JL, Ramirez-Tortosa MC, Ruiz-Gutierrez V, Sanchez-Rovira P, Solfrizzi V, Soriguer-Escofet F, de la Torre-Fornell R, Trichopoulos A, Villalba-Montoro JM, Villar-Ortiz JR, Visioli F. (2005). International conference on the healthy effect of virgin olive oil. *European Journal of Clinical Investigation*, 35(7), 421-424.

Qi, L., van Dam, R. M., Rexrode, K., Hu, F. B. (2007). Heme iron from diet as a risk factor for coronary heart disease in women with type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 30(1), 101-106.

Ragab G, Elshahaly M, Bardin T. (2017). Gout: An old disease in new perspective; A review. *Journal of Advanced Research*. 8(5), 495-511


Roussel, M. A., Hill, A. M., Gaugler, T. L., West, S. G., Vanden Heuvel, J. P., Alaupovic, P., Guillies, P.J., Kris-Etherton, P.M. (2012). Beef in an Optimal Lean Diet study: Effects on lipids, lipoproteins, and apolipoproteins. *American Journal of Clinical Nutrition*, 95, 9-16.

- Russo, G. L. (2009). Dietary n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acids: From biochemistry to clinical implications in cardiovascular prevention. *Biochemical Pharmacology*, 77(6), 937-946.
- Scollan, N., Hocquette, J. F., Nuernberg, K., Dannenberger, D., Richardson, I., Moloney, A. (2006). Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Science*, 74, 17-33.
- Schwarz, F. J., Augustini, C., Timm, M., Kirchgessner, M., Steinhart, H. (1998). Effect of vitamin E on alpha-tocopherol concentration in different tissues and oxidative stability of bull beef. *Livestock Production Science*, 56, 165-171.
- Simopoulos, A. P. (2002). The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 56, 365-379.
- Simpson, R. J., McKie, A. T. (2009). Regulation of intestinal iron absorption: The mucosa takes control? *Cell Metabolism*, 10(2), 84-87.
- Thompson, K. J., Shoham, S., Connor, J. R. (2001). Iron and neurodegenerative disorders. *Brain Research Bulletin*, 55(2), 155-164.
- Turhan, S., Altunkaynak, T. B., Yazici, F. (2004). A note on the total and heme iron contents of ready-to-eat doner kebabs. *Meat Science*, 67(2), 191-194.
- USDA (2011). USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 24. (Retrieved from <http://www.ars.usda.gov/nutrientdata>)
- World Health Organization. International Agency for Research on Cancer (2015). Q&A on the carcinogenicity of the consumption of red meat and processed meat
- Williams, C. (2000). Dietary fatty acids and human health. *Annales de Zootechnie*, 49, 165-180.
- Williams, P. (2007). Nutritional composition of red meat. s4 The Role of. *Nutrition and Dietetics*, 64, S113-S119.
- Winett, R. A., Davy, B.M., Marinik, E., Savla, J., Winett, S. G., Phillips, S. M., Lutes, L. D. (2014). Developing a new treatment paradigm for disease prevention and healthy aging. *Translational Behavioral Medicine*, 4(1), 117-123.

Wood, J. D., Enser, M., Fisher, A. V., Nute, G. R., Richardson, R. I., Sheard, P. R. (1999). Manipulating meat quality and composition. *Proceedings of the Nutrition Society*, 58, 363-370.

Williamson, C. S., Foster, R. K., Stanner, S. A., Buttriss, J. L. (2005). Red meat in the diet. *British Nutrition Foundation. Nutrition Bulletin*, 30, 323-335.

Zembayashi, M., Nishimura, K., Lunt, D. K., Smith, S. B. (1995). Effect of breed type and sex on the fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular lipids of finishing steers and heifers. *Journal of Animal Science*, 73, 3325-3332.



Capítulo 7.

Métodos de conservación de la carne

María de Lourdes Pérez Chabela

7.1 Introducción

La carne se ha sometido desde la antigüedad a diversos métodos de conservación para tratar de alargar su vida útil. La descomposición y enfermedades transmitidas por alimentos son problemas que no han sido controlados todavía. Los consumidores demandan cada vez más alimentos frescos y sanos, es por esto, que los métodos de conservación se han ido innovando con el paso del tiempo para lograr alargar la vida útil del producto. La vida útil de un alimento se define como el tiempo finito, después de su producción en condiciones controladas de almacenamiento, en las que tendrá una pérdida de sus propiedades sensoriales y fisicoquímicas, y sufrirá un cambio en su perfil microbiológico (Carrillo Inungaray y Reyes Munguía, 2013). El reto en las tecnologías de conservación es lograr mantener las características fisicoquímicas del alimento y controlar la carga microbiana (Oropeza-Nieto y col., 2019).

La carne posee atributos que la hacen fácilmente propicia a una contaminación microbiana, entre estos podemos citar: la temperatura, el Aw y el pH. La carne se almacena generalmente a una temperatura de 4°C y a estas condiciones el frío actúa como un bacteriostático, pero los microorganismos psicrófilos se pueden seguir desarrollando y lograr la descomposición del producto.

La actividad de agua se define como el agua disponible en un alimento, lo cual podríamos decir que es el agua que aprovecha un microorganismo. La carne tiene una Aw de 0.98 la cual hace que todas las bacterias puedan crecer en ella, incluyendo patógenas y bacterias que causan descomposición.

Por lo que respecta al pH, la mayoría de las bacterias vive a un pH neutro, las levaduras y hongos son acidófilas, y como la carne tiene un amplio rango de pH, desde que se convierte en carne que normalmente está en un pH de 5.5, hasta la maduración donde el pH puede llegar hasta 6.8, pueden crecer en ella un gran número de microorganismos.

En carnes, es difícil conseguir la seguridad microbiana y mantener las características organolépticas de la carne con un solo método, es por eso que se utiliza lo que se llama tecnología de barreras.

7.2 Tecnología de barreras

La tecnología de barreras fue descrita por Leistner (1978) y es también llamada métodos combinados, procesos combinados, combinación de preservación o técnicas combinadas. La teoría de barreras trata del uso inteligente de combinaciones de diferentes métodos de conservación para la preservación del producto, es decir, debemos de usar los métodos necesarios para lograr la estabilidad del producto, pero un uso mayor de métodos equivale a un valor económico mayor.

Entre más grande es la barrera, más grande es el efecto conservador. Algunas barreras, por ejemplo, la pasteurización, puede ser una barrera alta para un determinado organismo, pero no para otros. La tecnología de barreras es un concepto crucial para la preservación de los alimentos y las barreras producen un producto estable controlando la descomposición microbiológica, algunas veces, el efecto sinérgico, conllevan a que cada barrera individual pueda ser de más baja intensidad que la que debería ser requerida si solo se ocupara una barrera (Leistner y Gorris, 1995). La Figura 7.1 muestra un ejemplo teórico de una tecnología de barreras donde todas las barreras son del mismo tamaño, pero se necesitan varias para lograr el efecto conservador.

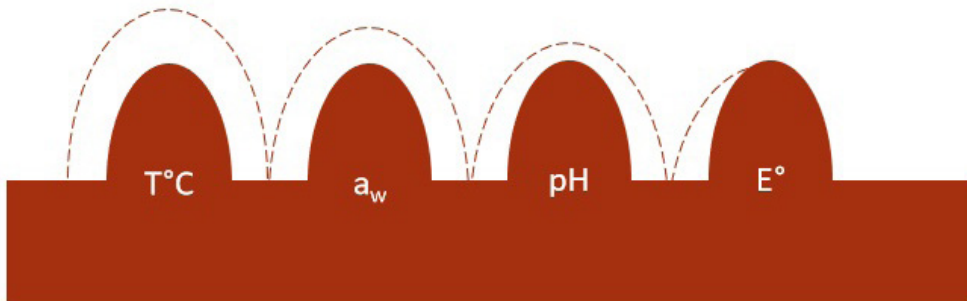


Figura 7.1. Ejemplo teórico de la tecnología de barreras ($T^{\circ}\text{C}$: temperatura, a_w : actividad de agua, E° : potencial oxido-reducción).

7.3 Métodos de Conservación tradicionales

Como métodos de conservación tradicionales nos referimos a los métodos más usados desde la antigüedad, entre estos se encuentran: el salado

y secado, la refrigeración y la congelación. En la Figura 7.2 se muestra la tecnología de barreras que se ocupan en esos métodos. Para el secado y salado (Figura 7.2a), en este método de conservación la función de la sal es reducir el agua disponible disminuyendo la A_w del producto y aumentando la presión osmótica, las dos tienen un efecto bacteriostático. El empaque no es característico de todos los productos salados y secados pero podría constituir una barrera pequeña y la desecación es la barrera más grande ya que estos productos al perder agua desciende su A_w hasta valores donde los microorganismos ya no pueden crecer, excepto por supuesto, hongos que algunos pueden ser benéficos como los del género *Penicillium*. Después de esta barrera ya el producto no necesita utilizar otra y puede mantenerse durante mucho tiempo a temperatura ambiente. Para la refrigeración, el método de conservación ocupa varias barreras que no son demasiado grandes. En primer lugar, la carne se empaqueta algunas veces al vacío por lo que se reduce el potencial redox (no hay oxígeno para los microorganismos aerobios), después el pH de la carne, que es de 5.5 actúa, como un bacteriostático y por último la temperatura actúa como un bacteriostático, ya que como no es demasiado baja pueden crecer los microorganismos psicrófilos que al final son los que causan el deterioro de la carne (Figura 7.2b). La congelación es el mejor método de conservación que existe, ya que, mejora notablemente el tiempo de conservación, y la carne congelada puede durar varios años. Comprende 2 barreras pequeñas, el potencial redox proporcionado por el empaque y la disminución del A_w , ya que como el agua de la carne está congelada no hay agua libre disponible, por lo que los microorganismos no pueden reproducirse y mueren. Después la temperatura -20°C (temperatura comercial) es la barrera más alta, ya que se detienen todas las actividades enzimáticas (Figura 7.2c).

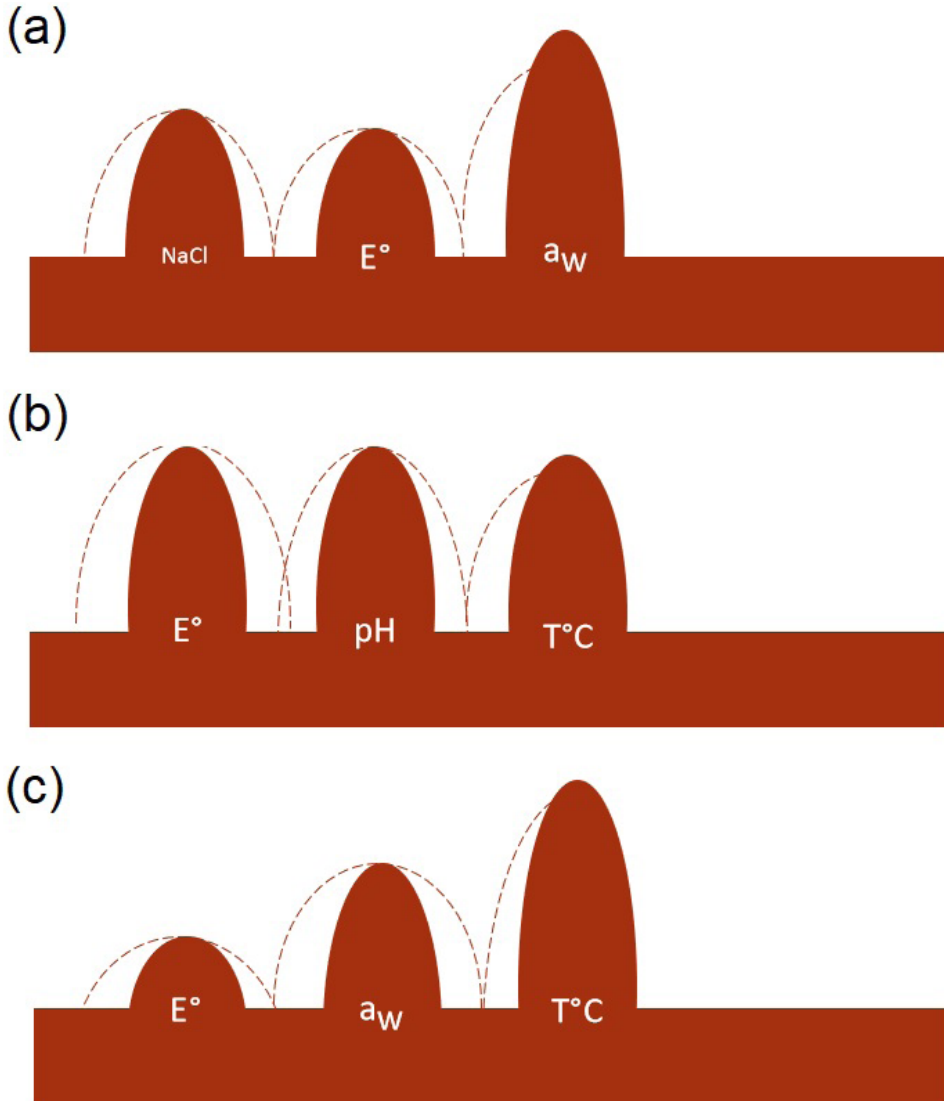


Figura. 7.2 Tecnología de barreras para: (a) el secado y salado, (b) la refrigeración y (c) la congelación.

7.3.1 Salado y secado

El salado y secado son de los procesos de conservación más antiguos y siempre están asociados. Se utilizan más en América y África. Ejemplo de estos productos tenemos: tasajo, cecina, carne seca, machaca (México) *biltong* (Sudáfrica), *pastirma* (Turkía), *jerky* (Estados Unidos), charque (Brasil), etcétera. Entre las ventajas de estos productos se encuentran: mayor estabilidad en la vida de anaquel, menos espacio de almacenamiento, facilidad para transportar los productos, no requieren refrigeración y durante el salado y secado los productos adquieren propiedades organolépticas típicas: color, olor, sabor (Mishra y col., 2017). En la Figura 7.3 se muestra carne seca, un producto salado y secado tradicional mexicano.



Fig. 7.3 Carne seca. Platillo tradicional del Norte de México (Cortesía de Ricardo Totosaus).

La deshidratación o secado consiste en la remoción controlada de la humedad y con ello se logra aumentar la vida de anaquel al disminuir o detener la actividad de microorganismos, reacciones químicas y enzimáticas causantes de la alteración del alimento. Normalmente antes de secar un alimento hay que salarlo primero. Estos productos se clasifican como de baja hume-

dad y generalmente no contienen más del 25% de humedad y tienen una Aw de 0.6 (Jay y col., 2005). La sal es el ingrediente esencial en estos productos ya que le proporciona diferentes características, además de ser usado como un preservativo para prevenir la putrefacción e incrementar la vida de anaquel; le proporciona el sabor y color característicos (Talib y col., 2014).

7.3.1.1 Microbiología de la carne salada y secada

Rahman y col. (2005) estudiaron el efecto de 5 diferentes métodos de secado: solar, aire, vacío, congelación y atmósferas modificadas sobre el conteo de microorganismos y características fisicoquímicas en muestras del músculo *Longissimus dorsi* de cabra durante 6 semanas de almacenamiento. Las características de calidad de las muestras fueron afectadas por los 5 métodos de secado, pero, las muestras secadas al sol muestran los más altos conteos de microorganismos aerobios, *Pseudomonas* y *Staphylococcus aureus* comparado con otros métodos de secado. El método de secado afectó el tipo de hongo presente en las muestras.

Ajiboye y col. (2011) estudiaron los microorganismos asociados con la carne seca vendida en un mercado de Nigeria. Las muestras se almacenaron en 2 diferentes temperaturas, a 4 y 25°C por un periodo de 5 semanas. De las 2 muestras se aislaron 8 microorganismos: *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus luteus*, *Neisseria* sp., *Acinetobacter* sp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Penicillium* sp. y *Rhizopus* sp. El número total de micororganismos se incrementó en la carne seca almacenada a 25°C y decreció en la carne almacenada a 4°C.

Hernández y col. (2016) estudiaron el efecto de la aplicación del aceite esencial de orégano en la carga microbiana y atributos sensoriales de carne seca de bovino. Lomo de bovino fue esterilizado por inmersión en etanol, posteriormente se inoculó con 2 cepas patógenas: *Salmonella enteritidis* y *Escherichia coli*, una muestra sin inocular constituyó el control. Las muestras se secaron a 55°C por 6 horas. Los resultados mostraron que la aplicación de aceite esencial de orégano puede inhibir tanto a *Salmonella enteritidis* como a *E. coli*. Respecto a la evaluación sensorial estas muestras son más atractivas para el consumidor que las muestras control, por lo que concluyeron que el

aceite esencial de romero es una buena opción para inhibir microorganismos sin alterar las características organolépticas en carne seca de bovino.

Bampi y col. (2019) investigaron la aplicación del secado al vacío por microondas como un método rápido en la elaboración de carne seca de res. Normalmente el proceso es salado y secado de la carne al sol y dura de 5 a 6 días. Además, trataron de cambiar el cloruro de sodio por cloruro de potasio. Ellos encontraron que cuando la carne se seca por microondas presenta altos valores de porosidad y consecuentemente una alta capacidad de rehidratación, sin embargo, es posible reducir el contenido de cloruro de sodio por cloruro de potasio sin afectar considerablemente las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de los productos salados y secados logrando un producto con un contenido bajo en sodio.

7.3.2 Refrigeración

El principal objetivo de la refrigeración es el de inhibir a los microorganismos de descomposición. Los principios del uso de hielo para la refrigeración datan de 1750. Desde el punto de vista microbiano, las canales se deben de refrigerar lo más pronto posible, ya que puede existir evaporación. Las canales deberían pasar el proceso de *Rigor mortis* a temperaturas encima de 15°C pero existe un riesgo de contaminación microbiana. Se recomienda que este proceso sea a 8°C ya que la mayoría de los microorganismos patógenos detiene su crecimiento a esa temperatura. Ya cuando ha pasado el proceso de conversión, la temperatura normal de refrigeración es de 1 a 4°C. El almacenamiento en refrigeración está influenciado por la especie, la carga microbiana inicial, el empaçado, la temperatura y las condiciones de humedad. Cerdo y pollo empiezan con alta carga microbiana en comparación con otras especies, esto debido a que en la matanza los cerdos sufren un depilado y en las aves hay un proceso de desplumado que aumenta su carga microbiana por una contaminación cruzada. La temperatura de refrigeración favorece a los microorganismos psicrófilos que causan la putrefacción de la carne. generalmente la carne permanece en refrigeración durante 5-7 días a una temperatura de 4°C (Pal y Devrani, 2018). Durante la refrigeración la carne puede sufrir modificaciones físicas (pérdida de agua, cambios en color y olor) microbiológicas (crecimiento de levaduras y hongos), y químicas (enranciamiento de las grasas y lípidos).

7.3.2.1 Microbiología de la carne refrigerada

La temperatura a la que se debe mantener la carne depende de los microorganismos que se encuentren en el producto, así como de sus factores intrínsecos. La mayoría de los microorganismos presentes en carne suelen ser mesófilos, esta contaminación proviene del proceso de matanza, cuando la carne se refrigera, su flora cambia a una población predominantemente psicrófila, capaces de crecer entre 0 y 4°C a un ritmo lento, el crecimiento comienza con el consumo de oxígeno superficial y glucosa por parte de *Pseudomonas spp.* *Brochotrix thermosphacta*, cuando se agota la fuente de glucosa comienza el consumo de aminoácidos con el consiguiente desarrollo de putrefacción y aromas rancios asociados con ácidos grasos de cadena corta (Tirado y col., 2005).

Maziero y Oliveira (2010) estudiaron la sobrevivencia de *Campylobacter yeyuni* en 30 muestras de carne de pollo almacenadas a refrigeración por 7 días a 4°C. 93.3% de las muestras fueron contaminadas con *Campylobacter yeyuni*, esta es una bacteria termofílica que causa enteritis en humanos. Después de la refrigeración, 53.3% de las muestras analizadas dieron positivo a *Campylobacter* lo cual indicó que el microorganismo puede sobrevivir fácilmente a las temperaturas de refrigeración.

Mawlood y Khidhir (2018) realizaron un estudio con 72 pollos los cuales se dividieron en 2 grupos: sacrificados en un rastro con licencia y la otra mitad en un rastro sin licencia. Se muestrearon las pechugas de los pollos y se refrigeraron a 4°C esto con el objetivo de comparar las condiciones sanitarias del estado de higiene del rastro. Los microorganismos indicadores que utilizaron fueron coliformes y psicrófilos. En cuanto a los coliformes el conteo fue un log mayor en los rastros sin licencia pero para ambos tipos se mantiene a lo largo de los días. En los rastros sin licencia hubo conteo de microorganismos en el día 0 lo que indica que la carga inicial es determinante en la calidad microbiológica de la carne, los números de microorganismos se encuentran arriba de lo permitido en ambos casos. Los psicrófilos se incrementaron después de 6 días de almacenamiento en refrigeración para la pechuga de pollo de ambos tipos de rastros, lo que demuestra que la refrigeración es un método de conservación poco eficaz para la carne ya que los microorganismos psicrófilos se pueden seguir multiplicando.

7.3.2.2. Maduración de la carne en refrigeración

La maduración de la carne se lleva a cabo en condiciones de refrigeración. Normalmente de 7 a 28 días, sin embargo, maduraciones de 28 a 55 días a una temperatura de 0-4°C y con una humedad relativa de 75-80% se llevan a cabo en algunos países. Esta es una técnica costosa, hay pérdidas durante el almacenamiento y un alto riesgo de contaminación. El empaque puede tener un impacto positivo en la seguridad microbiológica de esta carne (Dashdorj y col., 2016).

Ryu y col. (2018) estudiaron el efecto de la maduración de la carne por 60 días a 4°C con una humedad relativa de 75-80%. Sobre la variedad de los microorganismos. Al inicio de la maduración, la cuenta estándar total y las bacterias ácido lácticas se incrementaron en los primeros 50 días, no existiendo microorganismos patógenos como coliformes. Los hongos y las levaduras se observaron durante los últimos días del almacenamiento, al principio, las levaduras y mohos presentes fueron *Candida sp.*, *Cladosporium sp.*, *Rhodotorula sp.*, pero con el paso del tiempo desaparecieron y en el último periodo aparecieron *Penicillium camemberti* y *Debaromyces hansenii*. Los hongos juegan un papel importante en la palatabilidad y el desarrollo del sabor de la carne madurada.

7.3.2.3 Utilización de antimicrobianos durante la refrigeración

Últimamente, diversos estudios, se han enfocado a poner algún antimicrobiano en la carne durante el almacenamiento en refrigeración, ya sea en el empaque o en la carne directamente para aumentar su vida de anaquel.

Machado de Melo y col. (2012) desarrollaron un empaque al que le incorporaron aceite esencial de romero (película activa) en 2 concentraciones 20 y 50%, con el objetivo de conocer el efecto sobre los microorganismos psicrófilos y coliformes y el color en cortes de pechuga de pollo refrigerada durante 6 días. Las películas con 20% no mostraron efecto en el control de psicrófilos y coliformes pero cuando se puso al 50% si se controlaron los coliformes. Ellos concluyeron que las películas incorporadas con aceite esencial de romero al 50% son efectivas para controlar a los psicrófilos y coliformes en cortes de pechuga de pollo en refrigeración sin afectar el color.

Graciano-Cristóbal y col. (2017) evaluaron el efecto antibacteriano de especias comestibles (mezcla 1: cebolla, cilantro, orégano, jugo de limón, mezcla de canela-clavo; mezcla 2: cebolla, cilantro, hojas de laurel, jugo de limón, mezcla de canela-clavo; mezcla 3: cebolla, cilantro, pimienta negra, chile verde, ajo, sal), sobre el crecimiento de *Escherichia coli* O157:H7 en hamburguesas de carne de cerdo cruda almacenadas a 4 °C durante 12 días. Los resultados señalaron que el aditivo 3 logró reducir de forma significativa ($p \leq 0.05$) el crecimiento de una alta concentración de *E. coli* (10^5 UFC/mL) en las hamburguesas, aun diluyéndolo a 50% de su concentración original.

Rubah y col. (2019) estudiaron el efecto bacteriostático del extracto de col china (*Brassica rappa* subsp. *Pekinensis*) sobre microorganismos patógenos como *Escherichia coli*, *Listeria monocitogenes*, *Salmonella entérica thypimurium*, *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus* en carne de bovino almacenada a 4°C durante 16 días. Sus resultados mostraron que el 2% del extracto puede ser usado como un efectivo agente antimicrobial disminuyendo los conteos de los microorganismos patógenos y aumentando con esto la seguridad microbiológica de la carne de vacuno.

7.3.3 Congelación

La congelación es el mejor método de conservación que existe, su única desventaja es el costo, aunque se citan otras, pero estas son debidas a un mal proceso. La carne congelada y descongelada debería de tener las mismas características que la carne fresca. Durante la congelación se detiene el crecimiento de los microorganismos y las actividades enzimáticas, pero esto depende de la temperatura de congelación utilizada. Sin embargo, muchas veces durante el descongelado los microorganismos pueden recuperarse, por lo que es recomendable que la carne que se congele tenga la mínima cantidad de microorganismos. Hace más de 100 años, Clarence Birdseye pasó varios años como explorador en la península de Labrador, Alaska, como parte del servicio de geografía de los Estados Unidos. Se dio cuenta de que los nativos americanos ponían piezas de carne en agua fría, que en combinación con el helado viento, resultaban en la casi inmediata congelación de la carne, esto debido a la formación de cristales más pequeños que no dañaban el tejido muscular. Al regresar a los Estados Unidos, desarrolló un equipo comercial de congelación rápida de convección, y su compañía se convirtió en líder

de alimentos congelados (Totosaus, 2004). De este modo, la calidad de la carne congelada es influenciada por su velocidad de congelado. Es necesario congelar la carne en forma rápida, para que los cristales que se formen sean pequeños y no rompan la estructura, si congeláramos lento se formarían cristales grandes que pueden causar daño físico al tejido muscular. Alrededor del 98% del agua se congela a -20°C y la formación completa de los cristales ocurre a -65°C (Rosmini y col., 2004). Por otra parte, el descongelado tiene que ser lento para que cuando los cristales se deshagan, la estructura de la carne pueda absorberlos. Es recomendable descongelar la carne subiendo la temperatura 1°C por hora, esto se puede lograr de manera casera bajando la carne del congelador al refrigerador y dejándola toda la noche. El descongelado es una fase crítica porque es en donde se pueden volver a reactivar los microorganismos. El descongelado es considerado finalizado cuando la temperatura de la carne esta entre 0 y -1°C (Cano-Muñoz, 1991).

Farouk y col. (2013) estudiaron la hipótesis de que el punto inicial de congelación es afectado por el pH. Utilizaron 64 músculos *Longissimus thoracis* de bovino que fueron divididos en 2 grupos: pH bajo (5.8) y pH alto (6.2). Ellos encontraron una alta correlación entre el pH y el punto de congelación. Lo cual podría tener implicaciones para la industria cárnica debido a que la formación de hielo es mejor si el pH es más alto.

Cano-Muñoz (1991) en el Manual de la FAO reporta que la congelación debe de ser utilizada cuando necesitamos alargar por mucho tiempo la vida de anaquel de la carne. Durante el congelado aproximadamente el 80% del agua se solidifica, lo cual minimiza los cambios físicos, bioquímicos y microbiológicos que afectan la calidad. Un producto puede ser considerado congelado cuando la temperatura en el centro está a -12°C o menos. Antes de ser congelada, la carne se refrigera, usualmente se corta en cuartos la canal y la grasa no se quita para evitar que se seque la superficie. La congelación se lleva a cabo en túneles o cámaras de aire a una temperatura de -30° a -35°C con una humedad relativa del 95%.

Las desventajas del congelado son el deterioro de las características organolépticas, como cambios en el color, sabor, la textura y pérdida de peso, pero esto depende de la temperatura de congelación, de la carga microbiana inicial, del método de descongelación utilizado y de las condiciones de

almacenamiento ya que puede haber una contaminación postproceso (Pérez-Chabela, 2007). El color y el sabor de la carne se altera debido a la oxidación de los lípidos y la mioglobina, los cambios en la textura son debidos a la congelación de la carne en estado pre-rigor lo cual produce acortamiento por frío o el congelar la carne cuando todavía existe ATP residual lo cual causa el rigor de descongelación, estos 2 fenómenos causan dureza, el método de congelado y descongelado puede hacer que la carne pierda agua y con esto, pierda peso (Pérez-Chabela y Mateo-Oyague, 2004).

7.3.3.1 Microbiología de la carne congelada

La congelación conserva la carne debido a que impide la multiplicación de microorganismos y detiene la actividad enzimática. Las bacterias Gram positivas generalmente son más resistentes que las Gram negativas, los cocos más que los bacilos y las levaduras y hongos más que las bacterias. Oranusi y col. (2014) investigaron el perfil microbiológico de carne congelada de pollo, pavo y ganso, las cuales se compraron en diferentes locales en Nigeria. La temperatura a la que estaba la carne no fue reportada. Los coliformes fueron encontrados en todas las muestras el rango fue de 7.0×10^3 a 5.0×10^6 ufc/g. Las bacterias aisladas incluyeron *S. aureus*, *E. coli*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Salmonella*, *Flavobacterium*, *Listeria* y *Pseudomonas*. Dentro de los hongos predominaron *Aspergillus*, *Penicillium* y *Alternaria*, que son considerados patógenos oportunistas. Ellos concluyeron que, aunque la congelación detiene el crecimiento de los microorganismos, si los productos están contaminados desde el proceso antes de someter a la congelación, durante el descongelado van a multiplicarse, además de que existe mucha contaminación postproceso y cruzada desde que se compra hasta que se consume. Umoafia y Okoro (2018) estudiaron el papel del congelado y descongelado en la calidad microbiológica de carne de cerdo en Nigeria. La carne se congeló por 2 semanas y la carga microbiana total se encontró entre 1.20×10^6 ufc/g a 4.9×10^4 ufc/g. Los coliformes totales entre 2.0×10^5 ufc/g a 6.1×10^6 ufc/g y los hongos entre 1.96×10^5 ufc/g a 5.7×10^6 ufc/g. Entre los géneros de los microorganismos se incluyen *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Staphylococcus*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Penicillium* y *Aspergillus*. Ellos concluyen que el congelado no brinda esterilidad al producto. Aunque depende de la carga inicial microbiana.

7.3.4 Ventajas y desventajas de los métodos de conservación tradicionales

Todos los métodos de conservación poseen ventajas y desventajas, es por esto por lo que debemos saber cuáles podemos utilizar dependiendo la región, tipo de carne, etcetera. En la Tabla 7.1 se resumen los métodos de conservación tradicionales, salado y secado, refrigeración y congelación y sus principales ventajas y desventajas.

Tabla 7.1 Principales ventajas y desventajas de los métodos de conservación tradicionales

Método de conservación	Ventajas	Desventajas
Salado y secado	<p>Eliminación de humedad</p> <p>Desarrollo de color y sabor</p> <p>Disminuye la velocidad de reacciones químicas.</p> <p>Es un bacteriostático o bactericida dependiendo el producto.</p> <p>Ocupan menos espacio de almacenamiento</p> <p>Facilidad de transporte</p> <p>No requieren refrigeración</p>	<p>Crecimiento de mohos</p> <p>Merma de peso.</p>
Refrigeración	<p>Bacteriostático</p> <p>Inhiben microorganismos patógenos</p>	<p>Pérdida de humedad</p> <p>Decoloración</p> <p>Pérdida de peso</p> <p>Crecimiento de levaduras y hongos</p> <p>Enranciamiento de grasas</p>
Congelación	<p>Detiene el crecimiento microbiano.</p> <p>Detiene las reacciones enzimáticas</p> <p>Alarga la vida de anaquel</p>	<p>Costo</p> <p>Cambios en textura</p> <p>Enranciamiento de las grasas</p> <p>Pérdida de peso</p>

7.4 Conclusiones

Para lograr la estabilidad de un alimento es necesario poder seleccionar el método o los métodos necesarios de conservación. La carne, al ser un alimento con características que la hacen propicias para todos los microorganismos, necesita de la combinación de varios métodos, con lo cual se tendrían varias barreras logrando que la vida útil del producto se alargue. En cualquier método de conservación que se utilice se debe de tener cuidado en que la carga microbiana de la carne inicial se encuentre en los valores más bajos posibles para de esta manera poder garantizar la vida útil del producto.

Bibliografía

- Ajiboye, A.E., Kolawole, O.M., Oladosu, T.O., Adedayo, M.R., Akintunde, J.K. (2011). Studies on the microorganisms associated with dried meat (Tinko) sold in Ilorin, Nigeria. *African Journal of Microbiology Research* 5(24): 4150-4154.
- Bampi, M., Schmidt, F.C., Laurindo, J.B. (2019). A fast drying method for the production of salted-and-dried-meat. *Food Science & Technology* 39:526-534.
- Cano-Muñoz, G. (1991). Manual on meat cold store operation and management. *FAO Animal Production and health paper*.
- Carrillo Inungaray, M.L., Reyes Munguia, A. (2013). *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias* 283: 1-25.
- Dashhdorj, D., Tripathi, V.K., Cho, S., Kim, Y., Hwang, I. (2016). Dry aging of beef; Review. *Journal of Animal Science and technology* 58: 1-11.
- Farouk, M.M., Kemp, R.M., Cartwright, S., Nort, M. (2013). The initial freezing point-temperature of beef rises with the rise in pH. A short communication. *Meat Science* 94(1): 121-124.
- Graciano-Cristobal, M.J., Sumaya-Martínez, M.T., Balois-Morales, R., Rodríguez-Carpena, J.G., Jiménez-Ruíz, E.I., Bautista-Rosales, P.U., Madrigal-Santillán, E.O. (2017). Efecto antimicrobiano de aditivos naturales en carne de cerdo cruda. *Acta Agrícola y Pecuaria* 3(2): 32-40.
- Hernández, H., Franková, A., Sykora, T., Kloucek, P., Kourimska, L., Kuerova, I., Banout, J. (2016). The effect of oregano essential oil on microbial load and sensory attributes of dried meat. *Society of Chemical Industry* 97:82-87.
- Jay, J.M., Loessner, M.J., Golden, D.A. (2005). *Modern Food Microbiology*. 7^o. Edition. Springer. 443-447.
- Leistner, L. (1978). Hurdle effect and energy saving. *Food Quality and Nutrition*. 553-557.
- Leistner, L., Gorris, G.M. (1995). Food preservation by hurdle technology. *Trends in Food Science & Technology* 6:41-45.

Machado de Melo, A.A., Geraldine, R.M., Fontes Araujo, S.M., Lopes Torres, M.C., Silva Minafra, C., Fernández, T.H., Oliveira, A.N. (2012). Microbiological quality and other characteristics of refrigerated chicken meat in contact with cellulose acetate-based film incorporated with Rosemary essential oil. *Brazilian Journal of Microbiology* 1419-1427.

Mawlood, M.H., Khidhir, Z. Kh. (2018). Microbiological assessment of chicken breast meat from unlicensed and licensed slaughterhouses during refrigeration and freezing storage. *Basrah Journal of Veterinary Research* 17(3): 1-15.

Maziero, M.T., Oliveira, T.C.R.M. (2010). Effect of refrigeration and frozen storage on the *Campylobacter yeyuni* recovery from naturally contaminated broiler carcasses. *Brazilian Journal of Microbiology* 41: 501-505.

Mishra, B.P., Mishra, J., Pati, P.K., Rath, P.K. (2017). Dehydrated meat products-a review. *International Journal of Livestock Research* 7(11): 10-22.

Oranusi, S., Obioha, T.U., Adekeye, B.T. (2014). Investigation on the microbial profile of frozen foods: fish and meat. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences* 1(2): 71-78.

Oropeza-Nieto, D., Ventura-Sobrevilla, J., Aguilar, C.N. (2019). Desarrollo e innovación tecnológica para conservación de carne de cerdo. *Journal of Bioprocess and Chemical Technology* 11(21): 14-19.

Pal, M., Devrani, M. (2018). Application of various techniques for meat preservation. *Journal of Experimental Food Chemistry* 4(1): 1-6.

Pérez-Chabela, M.L. (2007). Capítulo 36. Shelf life of fresh and frozen poultry. En: *Handbook of Meat, Poultry and Seafood Quality*. Nollet, L.M.L. (Ed.) Blackwell Publishing 467-474.

Pérez-Chabela, M.L. y Mateo-Oyague, J. (2004). Frozen Meat: quality and shelf life. En: *Handbook of frozen foods*. Hui, Y.H., Cornillon, P., Legarreta, G.I., Lim, M.H., Murrel, K.D., Nip, W.K. (Eds.) Marcel Dekker Inc. NY USA. 201-214.

Rosmini, M.R., Pérez Alvarez, J.A., Fernández López, J. (2004). Operational processes for frozen red meat. En: *Handbook of frozen foods*. Hui, Y.H., Cornillon, P., Legarreta, G.I., Lim, M.H., Murrel, K.D., Nip, W.K. (Eds.) Marcel Dekker Inc. NY USA. 177-179.

Rahman, M.S., Salman, Z., Kadim, I.T., Mothershaw, A., Al-Riziqui, M.H., Guizani, N., Mahgoub, O., Ali, A. (2005). Microbial and physico-chemical characteristics of dried meat processed by different methods. *International Journal of Food Engineering* 1(2): 1-17.

Rubab, M., Chelliah, R., Saravanakumar, K., Barathikannan, K., Wang, M-H, Oh, D-H. (2019). Potential application of *Brassica rapa* subsp. *Pekinensis* extract on fresh beef meat during refrigeration storage. *Journal of Food Processing and Preservation* 43: 1-14.

Ryu, S., Park, M.R., Maburutse, B.E., Lee, W.J., Park, D-J., Cho, S., Hwang, I., Oh, S., Kim, Y. (2018). Diversity and characteristics of the meat microbiological community on dry aged meat. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 28(1): 105-108.

Talib, M.A., Hassan, M.A., Bouba, A.I., Ngarguededjim, K. (2014). Microbial properties of cows meat dehydrated using solar-drying, sun drying and oven drying. *Nova Journal of Medical and Biological Sciences* 2(4): 1-6.

Tirado, J., Paredes, D., Velázquez, G., Torres, J.A. (2005). Crecimiento microbiano en productos cárnicos refrigerados. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 5(1): 66-76.

Totosaus A. (2004). Frozen meat: packaging and quality control. Capítulo 19 en *Handbook of Frozen Foods*. Y. H. Hui, P. Cornillon, I. Guerrero Legarreta, M. H. Lim, K.D. Murrell & W.-K. Nip (Editores). Marcel Dekker Inc., New York, pp. 227-237.

Umoafia, G.E., Okoro, C.U. (2018). Effects of freezing and thawing on the microbiological and physicochemical qualities of frozen pork. *World Journal of Pharmaceutical and Medical Research* 4(2): 169-173.

Capítulo 8.
Tecnologías alternas
en la conservación de carne

Edith Ponce Alquicira

8.1 Introducción

La carne es reconocida como un alimento muy nutritivo, como fuente de proteínas de alta calidad, así como por su aporte de lípidos, minerales como el hierro, zinc y vitaminas K, D, E y del complejo B. Sin embargo, esta propiedad aunada a su alto contenido de humedad y pH cercano a la neutralidad también crea un ambiente favorable para el desarrollo microbiano, por lo que es un alimento altamente perecedero y posible vehículo de diversos gérmenes (virus, hongos, bacterias y parásitos). La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que anualmente el 10% de la población mundial presenta enfermedades asociadas al consumo de alimentos contaminados (ETAs), con 420,000 muertes de las cuales, el 30% corresponde a niños menores de 5 años; además se tienen reportes de 77 millones de casos y 9,000 muertes exclusivamente en la región de Latinoamérica durante el 2015 (WHO/FOS/15.02). La incidencia de ETAs genera altos costos por conceptos de atención médica y pérdidas en la productividad, es por ello importante el desarrollar e implementar nuevas estrategias en la conservación que aseguren la inocuidad los alimentos, incluida la carne.

Los tratamientos tradicionales para la conservación incluyen el empleo de uno o varios procesos como la deshidratación, fermentación, refrigeración y congelación, entre otros (Vercammen y col., 2011). Por lo que el término “carne fresca” se refiere a aquella obtenida de animales de abasto bajo las normas de manejo higiénico y que no ha sido sometida a procesos modifiquen de forma irreversible sus propiedades, fisicoquímicas y sensoriales, salvo la refrigeración en combinación con algún sistema de empaque para facilitar su manejo y conservación a lo largo de la cadena de producción, transporte y comercialización. El uso de cualquier otro proceso debe incluirse en la descripción, como carne congelada, carne marinada, etcétera. Recientemente, la sustentabilidad ha cobrado mayor importancia en la cadena de valor de la carne, en donde aspectos sociales, económicos y ambientales se suman a la demanda de los consumidores por alimentos sanos, seguros, ecológicos y mínimamente procesados (Rahman y col., 2018). En este contexto, las tecnologías alternativas ofrecen una amplia ventana de oportunidades para el desarrollo de nuevos productos y procesos, ya que pueden eliminar la microbiota alterante y retrasar las reacciones de deterioro

bioquímico y enzimático, con la mínima afectación nutricional y sensorial, reduciendo al mismo tiempo los costos y el tiempo de operación, mediante el reemplazo parcial o total de los procesos de conservación convencionales para la obtención de productos seguros y de alta calidad (Barbieri y Rivaldi, 2008; Barbosa-Cánovas y Bermúdez-Aguirre, 2010; Zhou, 2010). En este capítulo se describen las principales tecnologías no convencionales térmicas y no térmicas aplicables a la carne fresca o cruda, como los sistemas de súper-enfriado, alta presión hidrostática, ultrasonido, campos eléctricos pulsados, radiación, luz ultravioleta, empaque en atmosferas modificadas y empaque activo, muchos de ellos ya empleados industrialmente.

8.2 Tecnologías de conservación térmicas

Los métodos térmicos alternativos buscan aumentar la seguridad y la vida de anaquel de la carne refrigerada y congelada; en donde se induce un rápido descenso en la temperatura de la masa cárnica y con ello disminuye drásticamente la velocidad de crecimiento microbiano y la actividad enzimática, pero con la menor afectación de las características nutricionales y sensoriales. En estos procesos también es importante considerar una reducción en los costos de mano de obra y el uso eficiente de la energía. Ejemplos de los métodos térmicos no convencionales incluyen el súper-enfriado, congelación ultra-rápida, congelación por hidra-fluidización, congelación por impacto además de la congelación asistida por altas presiones, entre otras técnicas similares. Si bien estos procesos de congelación previenen el deterioro microbiano, enzimático y químico, es importante considerar que los microorganismos y los sistemas enzimáticos pueden reactivarse durante la operación de deshielo, ocasionando un rápido deterioro especialmente si la temperatura y el tiempo son elevados, por lo que también se han implementado métodos alternos para el deshielo, como el asistido por altas presiones (Rahman y col., 2018; Wu y col., 2017).

8.2.1 Súper-enfriado

El proceso de súper-enfriado fue descrito en 1920 e implica que los productos se someten a una temperatura límite justo por debajo de punto de congelación, generalmente entre 1 a 2°C por debajo del punto de con-

gelación, donde la mayoría de las bacterias son incapaces de desarrollarse (Zhou y col., 2010). En esta condición el agua en la superficie de los cortes estará congelada formando una delgada capa de hielo de 1 a 3 mm, la cual absorberá calor del interior del producto, con un descenso de la temperatura interna. El proceso se divide en tres etapas: (1) pre-enfriado con agua fría, seguido por (2) la remoción del calor latente de cristalización al colocar los cortes en un congelador a -15°C por algunos minutos hasta alcanzar la temperatura deseada y (3) posterior almacenamiento a una temperatura de -1 a -2°C . Las ventajas del súper-enfriado incluyen la reducción de los mecanismos de deterioro con un incremento de 1.4 a 4 veces la vida de anaquel del producto. Asimismo, la capa de hielo superficial previene la elevación de la temperatura asociada a la variación propia de los sistemas de refrigeración. Las desventajas incluyen la posibilidad de acortamiento por frío, crecimiento de cristales de hielo con un incremento en la pérdida de agua y daño en la textura del producto por lo que esta tecnología ha tenido mayor aplicación en mariscos, pescado y pollo. Además, se requiere de un mayor conocimiento de la energía y termodinámica del producto para el adecuado diseño de los procesos de súper-enfriado (Banerjee y Maheswarappa, 2017; Zhou y col. 2010).

Variaciones en los procesos de súper-enfriado incluyen el uso combinado de campos eléctricos pulsados (PEF, por sus siglas en inglés) y campos magnéticos para controlar la movilidad del agua y prevenir la formación cristales de hielo, por lo que el agua permanecerá es estado líquido en condiciones por debajo del punto normal de congelación, es decir en un estado súper-enfriado (You y col., 2020). Los campos eléctricos pulsados pueden reorientar y alinear las moléculas de agua por su naturaleza dipolar, sin modificar la temperatura. Los campos magnéticos oscilantes o estáticos (OMF o SMF, por sus siglas en inglés) inducen vibración de las moléculas de agua, derivado del fenómeno de diamagnetismo, previniendo la formación de núcleos de cristalización. You y col. (2020) reportaron el uso de PEF y OMF con cortes de res con una temperatura interna de -4°C por hasta 14 días obteniendo mejores propiedades sensoriales y fisicoquímicas en comparación con cortes almacenados en refrigeración o sometidos a procesos de congelación lenta y rápida a -10°C .

8.2.2 Congelación ultra-rápida

En esta tecnología, el producto alcanza una temperatura de -25°C en un tiempo muy corto por inmersión en un líquido refrigerante y posterior conservación a -18°C . La congelación ultra-rápida (URF, por sus siglas en inglés) induce la formación de pequeños cristales de forma homogénea y uniforme al interior y exterior de las fibras musculares, por lo que el daño del tejido es mínimo preservando las propiedades de textura y retención de agua. Sin embargo, las limitantes de esta tecnología son el alto costo del fluido refrigerante, las variaciones en la transferencia de calor, presencia de agrietamiento superficial y separación de grasa intramuscular, particularmente en piezas de gran tamaño y alto contenido de agua. El agrietamiento se origina por resultado del rápido cambio de volumen durante la congelación (Rahman y col., 2018; Wu y col., 2017).

8.2.3 Congelación por hidra-fluidización

Una variante de la congelación ultra-rápida es la congelación por hidra-fluidización (HFF, por sus siglas en inglés) en la que se emplea un sistema de circulación que bombea el agente refrigerante a través de pequeños orificios, el fluido refrigerante forma una corriente de chorro en constante movimiento, condición que asegura el contacto directo con el producto al interior de la celda de congelación. Logrando así una mayor transferencia de calor y una rápida congelación en comparación con los sistemas estáticos (Rahman y col., 2018).

8.2.4 Congelación por impacto

La tecnología de congelación por impacto es una técnica novedosa para la conservación de carne y otros alimentos, debido a su rápida y eficiente transferencia de calor. En esta técnica el fluido refrigerante se hace pasar por la superficie del producto a una velocidad de 50 ms^{-1} para lo cual se emplean equipos con flujo de aire de doble impacto que aseguran una rápida congelación con la mínima deshidratación del producto; esta tecnología se recomienda para productos cuya relación superficial es alta en relación con su masa como cortes y filetes. Aunque su principal desventaja radica en que los cortes pueden sufrir cierto daño mecánico derivado del impacto (Rahman y col., 2018).

8.2.5 Congelación asistida por altas presiones hidrostáticas

La tecnología de altas presiones hidrostáticas (APH o HPP High-Pressure Processing) se considera una tecnología limpia, en la que el producto se somete a una alta presión hidrostática entre los 100 a 1000 MPa, es decir de 90 a 900 veces la presión a atmosférica ya que 1 atm equivale a 0.10132 MPa (AESA, 2004). Esta tecnología se basa en dos principios: (1) el de Chatelier que establece que si un sistema en equilibrio se ve afectado por una condición como el cambio en la presión, este se desplazará hacia un nuevo estado para contrarrestar el efecto del cambio y, (2) el principio de Pascal, ya que la presión aplicada a un fluido en un punto se transmite en forma isostática, es decir de forma instantánea y homogénea, independientemente del tamaño y la geometría del medio (Velázquez y col., 2009). Para aplicar las altas presiones el producto empacado se introduce en una cámara de presurización en la que se bombea agua, o una mezcla de glicol-agua, a 50,000 psi, de tal forma que el líquido ocupa todo el espacio alrededor del producto, actuando como fluido transmisor de alta presión isostática que se transmite en forma homogénea e instantánea, por lo que el alimento sólo se comprime sin deformarse. El proceso de presurización puede durar desde unos milisegundos hasta varios minutos, además es posible controlar temperatura dependiendo del objetivo buscado. El incremento de presión provoca un aumento de temperatura de alrededor de 3°C por cada 100MPa derivado del trabajo de compresión denominado calentamiento adiabático. La alta presión puede modificar las distancias interatómicas de los componentes del producto, lo que lleva a cambios en la funcionalidad de macromoléculas, inactivación de sistemas enzimáticos e inactivación microbiana. La inactivación de microorganismos por tratamientos de APH requiere de procesos con 200 a 300 MPa y se acompaña de diversos fenómenos, como el incremento de la viscosidad del citoplasma, desnaturalización de proteínas, interferencia en la división celular y cambios en los procesos de transporte a nivel de membrana, lo que conduce finalmente a la inactivación de los microorganismos alterantes y patógenos (Considine y col., 2008; Han y col., 2010; Kameník y col., 2015). Por lo que, esta tecnología permite obtener alimentos inocuos e incrementar la vida de anaquel de productos cárnicos, productos derivados de pescado, productos lácteos, jugos, frutas y vegetales sin afectar la calidad nutricional, a diferencia de los procesos térmicos tradicionales (Bermúdez-Aguirre y

Barbosa-Cánovas, 2011; Demazeau y Rivalain, 2011; Hayman y col., 2004; Souza y col., 2011).

El uso de altas presiones se inició a finales del siglo XIX, más tarde con el desarrollo de materiales de alta resistencia para la construcción de cámaras de presurización y bombas de alto rendimiento, en los años 1970 y 1980 se desarrollaron procesos a nivel industrial en todo el mundo. Diversas empresas como Avure Technologies (WA, EUA), Hyperbaric (Burgos, España), Engineering Pressure Systems International NV EPSI (Bélgica y EUA), Kobelco Steel (Japón), Stansted Fluid Power (Reino Unido), UNIPRESS (Polonia), UHDE (Alemania) y ACB Pressure Systems (Francia) son las principales fabricantes de equipos de alta presión para procesos continuos o por lote. Si bien esta prometedora tecnología de alta presión probablemente sea más barata en cuanto al costo energético y de operación, el principal problema de su uso a nivel industrial es el monto de la inversión inicial, en comparación con los métodos tradicionales de conservación (Clark 2006 y 2007; Bermúdez-Aguirre y Barbosa-Cánovas, 2011, Kameník y col., 2015). Las aplicaciones comerciales utilizan presiones que oscilan entre 300 y 700 MPa durante 3-5 minutos, a temperaturas entre 4 a 150°C en procesos análogos de pasteurización y esterilización. A diferencia de ellos, los procesos de congelación asistida recomiendan presiones de hasta 207 MPa y temperaturas entre -21 a -18°C.

El proceso de congelación asistida por altas presiones se fundamenta en las propiedades y los cambios de fase del agua-hielo. El agua es una sustancia anómala ya que presenta altos valores de densidad y capacidad calórica, además de complejos diagramas de fase. Asimismo, el agua puede congelarse en hasta 17 formas cristalinas y tres tipos amorfos de hielo dependiendo de las condiciones de presión y temperatura (Tulk y col., 2019). En condiciones normales de presión (1 atm, 0.10132 MPa), el punto de congelación del agua se presenta justo por debajo de los 0°C formando cristales tipo I_h cuya densidad es de 0.917 g/cm³. El punto de congelación del agua disminuye gradualmente al aumentar la presión, alcanzando los -21°C a una presión cercana a 210 MPa. Sin embargo, a partir de ese punto se observa un efecto contrario, la temperatura de congelación aumentará conforme aumenta la presión, lo que permite generar agua líquida sobre-enfriada a temperaturas bajo cero (LeBail y col., 2002). El incremento en la presión en condiciones sub-crioscópicas induce la formación de cristales de hielo de alta densidad. Por arriba de los

200, 250 y 350 MPa el agua cristaliza en las formas de hielo tipo III, II y V, cuya densidad es de 1.14, 1.17 y 1.23 g/cm³, respectivamente (Tulk y col., 2019). Los cristales de hielo tipo Ih son de mayor tamaño e inducen un incremento del 9 al 13% en el volumen del producto que se asocia a un mayor daño en la estructura del tejido muscular, a diferencia de los cristales de hielo compactos y de alta densidad. El hielo tipo VI se forma a presiones superiores a los 600 MPa, pero es inestable y tiende a formar rápidamente cristales tipo Ih en la etapa de descompresión (Wu y col., 2017).

El proceso de congelación asistida por altas presiones incluye dos etapas: compresión y descompresión. En la primera el producto previamente empacado, se coloca dentro de una cámara de alta presión hasta alcanzar una presión entre 200 a 207 MPa y posteriormente se enfría a una temperatura entre -21 a -18°C. Bajo estas condiciones el agua permanece en estado líquido sin la formación de cristales de hielo. Una vez que se libera la presión, en la etapa de descompresión, se forman pequeños cristales de hielo de forma uniforme e instantánea en todo el producto, derivado del cambio de fase y una rápida nucleación. Los productos tratados de esta forma tienen una baja pérdida de agua por deshielo, ya que la microestructura del tejido muscular se conserva intacta. Sin embargo, se ha reportado que la congelación podría ser insuficiente al interior de cortes de carne de gran tamaño (Rhaman y col., 2018; Velazquez y col., 2005).

Un factor adicional en el uso de APH es su efecto sobre el color de la carne roja, ya que se ha reportado un incremento en la luminosidad (L^{*}) y disminución del componente de color rojo (a^{*}) especialmente al aplicar presiones entre 200 a 500 MPa, condición que favorece la desnaturalización de proteínas principalmente en la superficie del producto. Sin embargo, también se han reportado tratamientos de APH de 50 a 350 Mpa con un incremento en los valores de a^{*} que favorecen la formación de mioglobina en su estado reducido por inactivación de los sistemas enzimáticos responsables de la formación de metamioglobina (Ahn y col., 2017).

8.2.6 Congelación asistida por ultrasonido

El ultrasonido se refiere al uso de ondas electromagnéticas con una frecuencia superior a los 20 kHz, ya sea de baja energía (>100 kHz) o de alta ener-

gía (20-500 kHz) que se propaga al medio circundante mediante ondas de cavitación de pequeña longitud de onda y de mayor energía que las ondas del sonoras. Particularmente, la aplicación de ultrasonido de alta energía por unos 3 a 5 segundos genera turbulencia y burbujas de cavitación que cuando colapsan incrementan la presión y en consecuencia aceleran la formación de pequeños núcleos de cristalización de hielo. La energía mecánica también puede fragmentar los cristales de hielo formando nuevos y más pequeños núcleos de cristalización, además incrementa en la transferencia de calor y masa. Sin embargo, la formación de núcleos de cristalización también depende del tiempo de exposición, un periodo muy corto puede ser insuficiente para iniciar el proceso de nucleación y un tiempo prolongado podría impedir la formación de cristales (Wu y col., 2017).

8.2.7 Técnicas alternas para descongelación

La congelación no destruye a todos los tipos de bacterias ni enzimas presentes en la carne fresca, muchas sobreviven y pueden desarrollarse rápidamente durante el deshielo, acelerando los procesos de alteración. Esta situación es aún más crítica, por la presencia de algunos tipos de bacterias que pueden multiplicarse incluso antes de que la carne se congele por completo y permanecen en estado latente durante el almacén, convirtiéndola así en un foco de contaminación (Doulgerakia y col., 2012). Por otra parte, la descongelación es “en general” un proceso lento y menos uniforme que la congelación, por lo que en el producto se pueden crear zonas con condiciones de temperatura que favorecen el crecimiento microbiano y la actividad enzimática. Esta situación es particularmente crítica cuando el deshielo se realiza mediante el empleo de una corriente de aire frío con la formación de gradientes de temperatura e incremento en la humedad superficial del producto, lo que favorece enormemente el desarrollo de microbiota contaminante y la actividad de enzimas endógenas y exógenas. Por lo que es fundamental asegurar las condiciones de higiene para reducir la posible incidencia de alteraciones durante todo el proceso del manejo de la carne congelada, sin descuidar la etapa de deshielo.

Un correcto proceso de descongelación resulta decisivo para la mantener la calidad final de la carne. El método tradicional para descongelar carne se

realiza con aire frío, donde las piezas de carne se colocan en una cámara fría (4-6°C y HR% del 90%). El tiempo de descongelación dependerá del tamaño de las piezas de carne, para una pieza básica el tiempo de descongelación puede ser de hasta 7 horas por kg. Otras alternativas incluyen: la exposición a una corriente de aire caliente, la inmersión en agua, el uso altas presiones y el tratamiento de microondas, entre otros.

8.2.7.1 Descongelación asistida por microondas

En los últimos años el uso del procesamiento por microondas a nivel industrial ha cobrado gran relevancia para las operaciones de deshielo, secado y cocción. Su importancia no solo radica en la reducción del tiempo de proceso sino también por su efecto en la inactivación de microorganismos en alimentos. El efecto de la radiación por microondas sobre la flora contaminante es equivalente a un proceso de pasteurización tradicional, con la ventaja de ser más rápida (Oliveira y col., 2015). Se recomienda que la acción de microondas se efectúe a baja intensidad para evitar el sobrecalentamiento de la superficie del producto.

La radiación por microondas puede inactivar varios microorganismos, como a *E. coli*, *S. faecalis*, *C. perfringens*, *S. aureus*, *Salmonella* y *Listeria spp*; además de esporas y bacteriófagos. Aunque los mecanismos de inactivación microbiana no han sido del todo elucidados, algunos autores señalan que el efecto inhibitorio se debe propiamente al efecto de la radiación, más que a una destrucción térmica. Las células de *S. aureus* sometidas a tratamientos por microondas presentan una alteración en el balance metabólico más aguda que aquellas células sometidas a tratamientos térmicos equivalentes. Varios autores han demostrado que el tratamiento por microondas provoca una rápida reducción de la carga microbiana en cultivos de *E. coli* y *B. subtilis* debido a lisis y daño en la membrana celular acompañada de pérdida de proteínas y DNA (Cao y col., 2018; Shamis y col., 2011; Woo y col., 2000).

8.2.7.2 Descongelación asistida por altas presiones

Un producto congelado podrá descongelarse en muy poco tiempo al someterlo a alta presión y alcanzar la temperatura de cambio de fase, considerando que la temperatura de fusión del hielo aumenta al aumentar la presión por

arriba de 210 MPa. Una vez que el producto se haya descongelado se procede a incrementar la temperatura por arriba de los 0°C y posteriormente a la descompresión. Se ha reportado que, bajo esta condición la pérdida de agua por goteo es mínima y se mejoran las propiedades de retención de agua en carne cerdo. Sin embargo, la aplicación de alta presión puede inducir desnaturalización proteica y exposición de grupos hidrofóbicos, así como cambios de color particularmente en carne roja, por lo que deben seleccionarse condiciones adecuadas de presión y temperatura (Wu y col., 2017).

8.2.7.3. Descongelación asistida por ultrasonido

El ultrasonido es una forma de energía mecánica, cuya frecuencia vibracional es superior a 20,000 ciclos por segundo (20 kHz), que puede acelerar el medio circundante a través de energía de cavitación acústica y ondas de choque (Alarcón-Rojo y col., 2018). El ultrasonido puede reducir el tiempo de deshielo, ya que la energía de cavitación incrementa la temperatura en la superficie y en el interior del producto congelado hasta valores cercanos al punto de fusión del hielo. En este proceso, el producto congelado se sumerge en un baño con agua en el que se aplica ultrasonido. Esta técnica ofrece ventajas sobre las microondas, ya que el incremento de temperatura es uniforme y el frente de deshielo se presenta de forma rápida en comparación con los procesos tradicionales de inmersión en agua, sin afectar de forma significativa variables fisicoquímicas y microbiológicas como el pH, pérdida de agua por goteo, humedad y estabilidad oxidativa, aunque conlleva un excesivo consumo de energía (Wu y col., 2017).

8.2.7.4. Descongelación asistida por pulsos eléctricos de alto voltaje

Los campos eléctricos o pulsos de alto voltaje (2 a 40 kv/cm) con una duración de milésimas de segundo generan una corona que produce turbulencia y vórtices que mejoran la transferencia de calor acelerando los procesos de deshielo. La velocidad de deshielo depende del voltaje y la distancia entre el producto y los electrodos (Wu y col., 2017).

8.3 Tecnologías de conservación no térmica

Las tecnologías no térmicas ofrecen una alternativa para reducir la carga microbiana de la carne cruda, en niveles similares a los obtenidos mediante la pasteurización. Dentro de ellas destaca la radiación ionizante, el uso de luz UV, el plasma frío y otras intervenciones de descontaminación en combinación con sistemas de refrigeración y empaque. Estas tecnologías tienen un menor impacto en la apariencia y en general sobre las características nutricionales y sensoriales de la carne con respecto a los métodos térmicos tradicionales (Ahn y col., 2017). Si bien, el tratamiento por altas presiones APH es una técnica no térmica de pasteurización muy efectiva, también provoca cambios de color y textura en la carne fresca, por lo que ha tenido mayor éxito en el tratamiento de productos de pesca y en productos cárnicos procesados, así como en los procesos de congelación y deshielo que se describieron en la sección 8.2.

8.3.1 Radiación ionizante

La irradiación de alimentos es un método físico de conservación en la que el producto se expone a la acción de radiaciones ionizantes. El periodo de exposición debe garantizar la eliminación de bacterias causantes de ETAs como *Salmonella*, *Escherichia coli* y otros microorganismos alterantes, derivado del ataque radiolítico y ruptura de los enlaces fosfodiéster de la doble cadena del ADN. La radiación ionizante es un tipo de energía liberada por la desintegración espontánea de elementos o radionúclidos, que se puede presentar en forma de ondas electromagnéticas, como los rayos gamma y rayos X, o bien, en forma de partículas como las partículas alfa, beta o neutrones. Independientemente del tipo de radiación, la energía ionizante absorbida por un material se cuantifica en el sistema internacional (SI) en unidades Gray (Gy), equivalente a la absorción energética de 1 J/kg del material absorbente. La mayoría de las bacterias patógenas asociadas a alimentos son inactivadas en dosis <10 Gy, pero las bacterias Gram-positivas son más resistentes que las Gram-negativas; además, las bacterias esporuladas y los virus requieren de dosis superiores (Zhou y col., 2010).

El uso de la radiación como método de conservación en alimentos fue aprobado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) y la OMS en 1980, señalando que una intensidad de hasta 10 kGy no representa un riesgo de toxicidad y alteraciones en los atributos sensoriales. Posteriormente, en el año 2003 la OMS en la Norma General para los Alimentos Irradiados del Codex Alimentarius (CODEX STAN 106-1983, Rev. 1-2003) modificó el límite máximo aprobando el uso de dosis superiores a los 10 kGy para lograr los objetivos de conservación de alimentos, aunque en el caso particular de carne la fresca y congelada de res, cerdo y ave el máximo permitido es de 7 kGy sobre la base de la calidad higiénica del producto, evitando la irradiación repetida. Las fuentes de radiación para uso en alimentos incluyen rayos gamma a partir de los radionúclidos ^{137}Cs y ^{60}Co , así como los rayos X generados a una energía máxima de 5MeV y el haz de electrones generados en un máximo de 10 MeV. Las radiaciones por rayos gamma y haz de electrones son de alta energía, en general son más eficientes que los rayos X que tienen mayor poder de penetración y puede aplicarse en productos envasados. La principal ventaja en el uso de la radiación ionizante es su eficiente inactivación de bacterias, especialmente de patógenos y duplicar la vida de anaquel, aunque puede provocar cambios de color y en el aroma de la carne. Todos los alimentos irradiados o que contengan ingredientes irradiados en una proporción superior al 10% deben incluir en la etiqueta la frase “alimento tratado con radiación ionizante” además del logotipo de radiación recomendado por el Codex (Ahn y col. 2017).

La energía de radiación aplicada sobre una superficie es captada por electrones secundarios, que provoca un incrementando en el nivel energético induciendo su ionización. Este proceso continúa hasta que se agota la energía, como parte de fenómeno denominado efecto Compton, estudiado por el físico Arthur Compton en 1923 para describir la naturaleza cuántica de la luz. En alimentos con alto contenido de agua, como la carne, las moléculas de agua interaccionan fácilmente con electrones Compton generando radicales hidroxilo ($\text{HO}\bullet$) e hidrógeno ($\text{H}\bullet$), H_2O_2 , H_3O^+ , H_2 y electrones libres (e^-). Los productos derivados por la radiólisis del agua pueden agotar los sistemas antioxidantes presentes de forma natural en

la carne como el tocoferol y la carnosina; además, de inducir cambios en el color, aroma y sabor derivados de reacciones de oxidación de lípidos y proteínas (Anh y col., 2017; Zhou y col., 2010).

Los cambios de color que se presentan varían con el tipo de carne, dosis y empaque. La carne blanca como la de aves y lomo de cerdo adquieren una coloración más rojiza por la formación carboxi-mioglobina (COMb). La presencia de electrones libres derivados de la radiólisis del agua promueve el estado reducido del hierro hemínico (Fe II) de la mioglobina y su interacción con monóxido de carbono (CO) formando así COMb con una coloración roja estable. La presencia de CO resulta del efecto de la radiación sobre compuestos como glicina, asparagina, glutamina, piruvato, gliceraldehído y fosfolípidos (Djenane y Roncalés, 2018). En contraste, la carne roja irradiada en presencia de oxígeno adquiere una coloración café grisácea derivado de la oxidación del hierro hemínico de la mioglobina a metamioglobina (MetMb) resultado del efecto oxidante de los radicales superóxido ($O_2^{\bullet-}$) e hidropéroxilo (HO_2^{\bullet}). Estos cambios pueden minimizarse eliminando el oxígeno mediante el uso de sistemas de empaque al vacío y adición de ácido ascórbico para prevenir la formación metamioglobina (Djenane y Roncalés, 2018; Zhou y col., 2010).

8.3.2 Tratamiento con luz UV

La luz UV es la porción del espectro electromagnético entre los rayos X y la luz visible, con cuatro regiones UV-vacío (100-200 nm), UV-C (200-280 nm), UV-B (280-315 nm) y UV-A (315-400 nm). Únicamente, la luz UV de onda corta UVC y UVB tienen poder germicida, aunque tienen bajo poder de penetración. Esta técnica se emplea comúnmente para desinfectar aire, agua, superficies de contacto y envases para alimentos, así como agente de descontaminación sobre la superficie de algunos alimentos sin alterar sus propiedades. La luz UV de onda corta “y particularmente la de 254 nm” produce daño fotoquímico sobre el ADN y ARN que puede conducir a la muerte celular, siempre que la fuente de luz se ubique entre 3 a 18 cm de la superficie a tratar. La luz UV de onda corta (UV-C) induce la formación de puentes cruzados entre tiamina y citosina formando dímeros de ciclobutil-pirimidina entre nucleótidos adyacentes que impide la replicación y transcripción; aunque, algunas bacterias pueden sobrevivir al tratamiento debido a

un mecanismo de foto-reactivación en ausencia de radiación. Esta técnica es de bajo costo y fácil utilización, pero su operación requiere del uso de equipo de protección ya que puede dañar la vista y causar quemaduras a los operarios (Keklik y col., 2012).

Diversos autores han reportado el uso luz UV (254 nm) en dosis de 4.5 y 150 mW s/cm² para el tratamiento de la superficie de cortes y canales previo a la refrigeración. Los resultados fueron una reducción de la carga microbiana en dos a tres ciclos logarítmicos proporcional al tiempo de exposición, aumentando así la vida de anaquel sin alteración en las características organolépticas (Kim y col., 2014; Stermer y col., 1986).

Una variante de esta técnica es la luz UV pulsada (PUV, por sus siglas en inglés), también llamada luz UV de alta intensidad y amplio espectro (BSPL) o luz pulsada (PL), en la que se emplean pulsos de luz de espectro continuo de alta intensidad y corta duración en pulsos de 1 a 10 por segundo. La luz UV pulsada ha probado su acción antimicrobiana en niveles de 1.24 a 18 J/cm² contra *Salmonella enteritis*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Carnobacterium divergens*, *Escherichia coli* y esporas bacterianas en filetes de pollo. Los pulsos son generados en una lámpara de gas xenón con pulsos de microsegundos, que emite radiación en el intervalo de 200-1100 nm, en el que el 25% de la radiación se ubica en el intervalo de la luz UV (<400 nm). La Administración para Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA) aprobó el uso de la tecnología de luz UV pulsada en el Código 21CFR179.41, en niveles de hasta 12 J/cm² y en un espectro de emisión entre 200 a 1100 nm, con pulsos menores de 2 milisegundos, para el control de la superficie de contacto en los procesos de producción y manipulación de alimentos. El efecto inhibitorio de la luz UV pulsada es mayor al de la UV-C ya que además de generar daño en ADN y ARN, también altera la estructura de la membrana celular por hidroperoxidación, apoptosis y estrés térmico, aunque aún se tienen restricciones en cuanto a su aplicación y aprobación (Keklik, y col., 2010; McLeod y col. 2017; Rahman y col., 2018; Rowan, 2019).

8.3.3 Pulsos eléctricos de alto voltaje

La tecnología de pulsos eléctricos de alto voltaje o campos eléctricos pulsados (PEF) implica la aplicación de pulsos eléctricos de alto voltaje (1-10 kV/cm) por pequeños periodos de tiempo (micro a milisegundos) a alimen-

tos colocados entre dos electrodos al interior de una cámara. El proceso se puede aplicar a temperatura ambiente, así como a temperaturas menores o mayores, como se mencionó en la sección 8.2, a diferencia otras tecnologías, es posible mantener el control de la temperatura. Esta técnica emergente se enfoca en dos objetivos, la inactivación no-térmica de la microbiota contaminante y la transferencia de masa a través de la disrupción de estructuras. Acorde con la intensidad del tratamiento, los efectos colaterales de PEF incluyen un incremento moderado en la temperatura y desarrollo de reacciones electroquímicas que pueden ocasionar modificaciones en las propiedades sensoriales de la carne. La PEF actúa directamente en la membrana celular, formando poros en la bicapa lipídica y en consecuencia conduce a la muerte celular, dependiendo de la intensidad y de tiempo. El equipo está conformado por un generador de pulsos, una cámara de tratamiento donde se coloca el producto entre con los electrodos. Las aplicaciones en carne y productos cárnicos incluyen además del efecto de conservación, la aceleración de procesos de curado al incrementar la velocidad de transferencia de masa y la tenderización por un incremento en la velocidad de proteólisis. Esta tecnología se encuentra aún en desarrollo particularmente en el diseño de equipos industriales (Gómez y col., 2019).

8.3.4 Tecnología de plasma frío

El termino plasma se refiere al estado gaseoso de la materia con alto contenido de iones, electrones, radicales libres y partículas neutras; se le encuentra en la ionosfera y en el viento solar, así como en las pantallas de plasma y en las lámparas de neón. Acorde con la temperatura, los plasmas se denominan plasma de alta temperatura o plasma frío, el primero se emplea en la síntesis química y en la industria de metalurgia pudiendo alcanzar temperaturas muy elevadas. En tanto que el plasma frío tiene una temperatura cercana a la del ambiente (López y col., 2019).

El plasma se obtiene al aplicar un campo electromagnético a un gas (nitrógeno, oxígeno, helio, argón, aire o vapor de agua). El campo eléctrico induce la aceleración de electrones libres y la ionización de los componentes del gas, que a vez liberan más electrones libres creando una cascada de ionización y disociación molecular, generando nuevas moléculas y radicales libres. Los átomos y moléculas en un estado de alta energía retornan a su estado

basal emitiendo energía electromagnética en un amplio intervalo del espectro, incluida la radiación UV (Thirumdas y col., 2015). Los métodos para la producción de plasma incluyen sistemas al vacío y las descargas de barrera dieléctrica o de corona en sistemas a presión atmosférica. En general, los elementos que constituyen el plasma son moléculas en un estado de alta energía, iones, radicales libres, electrones, radiación UV y especies reactivas de oxígeno (ERO o ROS por sus siglas en inglés) y nitrógeno (ERN o NOR, por sus siglas en inglés), incluidos el ozono, oxígeno singulete, radicales superóxido e hidroxilo, oxígeno, óxido nítrico y dióxido de nitrógeno; todos ellos con un alto potencial antimicrobiano. Por lo que el plasma frío constituye una novedosa herramienta en la pasteurización no térmica de alimentos. En general las bacterias como *E. coli*, *L. monocytogenes* y *S. aureus* sufren daño a nivel de pared celular por alteración del peptidoglucano y reacciones de oxidación en la doble capa de lipo-polisacáridos de la membrana celular, así como daño oxidativo intracelular principalmente por alteración del ADN (Han y col., 2016; Lee y col., 2017; López y col., 2019; Thirumdas y col., 2015).

8.3.5 Ultrasonido

El ultrasonido es una forma de energía mecánica acústica, constituye una técnica no invasiva, no-destructiva, sustentable y de fácil aplicación. Los sistemas de ultrasonido transforman la energía eléctrica en energía vibracional que es transmitida al medio circundante. Parte de la energía se pierde en forma de calor y en la reemisión del sonido, el resto produce ondas de cavitación y de choque que pueden modificar las características físico-químicas del material, acorde con la frecuencia empleada. En general se emplean tres categorías: de alta intensidad y baja frecuencia (20-100 kHz), de mediana intensidad y frecuencia intermedia (100 kHz a 1 MHz) y de baja intensidad y alta frecuencia (1-10 MHz). Desde los años 1950 el ultrasonido de baja intensidad se ha empleado para evaluar la composición de los animales previo a la matanza, así como método de diagnóstico con frecuencias de 1 y 10 Mhz, ya sea en la forma de un haz continuo o en forma de pulsos (Alarcón-Rojo y col., 2018; Fernández-Bussy y col. 2016).

Los sistemas de alta intensidad interactúan con el medio produciendo cavitación que consiste en la ruptura mecánica de las moléculas del medio circundante, formando burbujas de vapor de agua que estallan violenta-

mente, por lo que el ultrasonido se emplea para la limpieza de equipos y eliminación de impurezas. Recientemente, los sistemas de ultrasonido de alta intensidad se han implementado para acelerar los procesos de transferencia de masa y calor en procesos de congelación, deshielo, marinado, tenderizado y cocción dentro de la industria cárnica. Los procesos de ultrasonido de alta energía (20 a 500 kHz) son de uso común en bioquímica y microbiología para la ruptura de células, pero también constituye una alternativa para la descontaminación de carne, ya que el fenómeno de cavitación puede alterar las membranas de células bacterianas en conjunto con la producción de radicales libres y ROS. Las bacterias Gram-positivas son más resistentes al ultrasonido por la capa de peptidoglucano que ejerce un efecto protector (Alarcón-Rojo, 2018; Turantas y col., 2015).

8.4 Empacado de carne fresca

La función primaria de los empaques es contener al producto, protegerlo y mantener su calidad, además de facilitar el manejo y brindar información al consumidor. Los materiales de empaque no sólo protegen al producto del daño físico, también constituyen una barrera de protección que evita la pérdida de humedad, controlando el intercambio de vapor de agua o compuestos químicos. Además, impiden el contacto de insectos, roedores y otras posibles fuentes de contaminación, tanto microbiana como física y química. En términos generales, el empaque forma parte integral de las estrategias para mantener la calidad e inocuidad de la carne y productos cárnicos, reducir costos y facilitar la distribución, procurando la higiene, seguridad, conveniencia y bajo costo; considerando además, aspectos de responsabilidad social y ambiental con el uso de materiales de empaque reciclables y/o biodegradables, así como la compatibilidad del material con el producto y la normatividad aplicable, acorde con el nivel de embalaje ya sea primario, secundario o terciario (Quintero y Ponce-Alquicira, 2007). El empaque primario se refiere al material que está en contacto directo con el producto y usualmente es el que recibe el consumidor final en el punto de venta. El empaque secundario contiene uno o varios envases primarios protegiéndolos o agrupándolos para su distribución comercial y puede ser retirado sin afectar las características de protección. Finalmente, el empaque terciario o colectivo comprende el agrupamiento de empaques primarios y secundarios en un

contenedor, brinda protección en el proceso de distribución comercial, facilitando la manipulación y distribución comercial, protegiéndolos del polvo, lluvia o cualquier forma de contaminación.

En general, para la carne fresca y productos de origen animal emplean como envases primarios, las películas plásticas obtenidas por laminado o coextrusión, como parte de los sistemas de empaque permeables, al vacío o en atmósferas modificadas en combinación con refrigeración, congelación y/o alguna otra tecnología emergente, como parte de la tecnología de barreras (Kerry y Tyuftin, 2017).

8.4.1 Sistema de empaque permeable

Los sistemas de empaque permeables al oxígeno son muy populares en el mercado para venta al detalle. En general, el producto se coloca en una charola con o sin almohadilla absorbente recubierta con una película envolvente de cloruro de polivinilo (PVC) permeable al oxígeno. En este sistema la carne presenta un color rojo brillante derivado de la presencia de oximioglobina. La vida de anaquel en este sistema es corta debido al rápido desarrollo de bacterias aerobias alterantes como *Pseudomonas* spp, que es acompañado de variaciones en el color y olor, por lo que el producto será inaceptable en unos cuantos días.

8.4.2 Sistema de empaque al vacío

El sistema al vacío tiene como objetivo extraer el aire y oxígeno a niveles inferiores a 500 ppm de oxígeno residual, evitando así la proliferación de bacterias aerobias alterantes y reduciendo las reacciones de oxidación, prolongando la vida útil de la carne en combinación con temperaturas de refrigeración y congelación. En este sistema, la vida de anaquel aumenta varias semanas, siempre que el material de película evite el ingreso de oxígeno (permeabilidad menor a 50 cc/m²/24h) y se asegure un sellado hermético. El envasado al vacío opera en tres etapas, en la primera el producto dentro de la bolsa se coloca al interior de la cámara y realiza la extracción o evacuación del aire empleando un mínimo de 10kPa presión vacío (90% de vacío). A continuación, se sella y por último se rompe el vacío y se abre la cámara para la extracción del producto empaquetado. En este sistema se prefiere el uso

de películas termoencogibles o segunda piel (skin packaging) que se contraen alrededor del producto evitando la formación de pliegues del material de empaque en donde se pudiera alojar el aire residual; además mejoran la apariencia y reducen la pérdida de agua por goteo, limitando las posibilidades del desarrollo microbiano.

Durante el almacenamiento, la respiración del tejido y el desarrollo de bacterias anaerobias, como las bacterias lácticas y *B. thermosphacta*, que tienen un lento crecimiento, pueden generar CO₂, variaciones en el pH y en las propiedades sensoriales. El bajo nivel de oxígeno en este sistema promueve la formación de deoximioglobina, que es más estable que la oximioglobina, pero puede ser rechazado por el consumidor al percibir una coloración púrpura; razón por la que se recomienda retirar el empaque por algunos minutos antes para permitir la oxigenación de la mioglobina y que la carne adquiera un color rojo brillante apreciado por los consumidores. Sin embargo, la exposición a condiciones de abuso en la temperatura de almacenamiento puede activar el desarrollo de microorganismos psicrófilos y la germinación de esporas criotolerantes como las de *Clostridium* que provocará una rápida alteración y producción de gas acompañado de la pérdida del vacío (Kerry y Tyuftin, 2017).

8.4.3 Sistema de empaque en atmósfera modificada

El sistema de empaque en atmósfera modificada (MAP) comprende el intercambio el aire por una mezcla de gases (oxígeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y nitrógeno) modificando el ambiente gaseoso dentro del empaque. Con lo que se reduce el crecimiento microbiano, la actividad mitocondrial y enzimática residual de la carne, aumentando así la vida de anaquel en al menos un 15% dependiendo de la carga microbiana inicial y la temperatura de almacén. Generalmente, se emplea una mezcla de gases formada por diferentes proporciones de oxígeno (O₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno (N₂), que se clasifican en mezclas con un alto contenido de oxígeno (70-80%) o mezclas de ultra baja concentración de oxígeno. Cabe señalar que siempre existirá una fracción de oxígeno residual dentro del tejido muscular y que la composición del ambiente gaseoso dentro del empaque puede variar por deficiencias en el sellado o por las características de permeabilidad de los materiales de empaque, así

como por la respiración del tejido y el desarrollo microbiano (Djenane y Roncalés, 2018; Kerry y Tyuftin, 2017).

Las mezclas con un alto contenido de oxígeno (70-80% O₂), en combinación con dióxido de carbono (20-30% CO₂), son ampliamente usadas debido a que una alta concentración de oxígeno inhibe el desarrollo de los microorganismos aerobios, acción potenciada por la presencia de CO₂ que tiene acción bacteriostática contra bacterias aerobias alterantes como *Pseudomonas* spp. Por otra parte, el oxígeno favorece la formación de oximioglobina en la superficie e interior de los cortes, conservando el color típico de la carne fresca. Dentro de las desventajas se señalan defectos en la textura y exudado derivados de la oxidación y polimerización de proteínas, además de cambios asociados a la oxidación de vitaminas, lípidos y mioglobina con la consecuente aparición de sabores y colores indeseables. En particular, destaca una apariencia de carne similar al de la carne "bien-cocida" de forma prematura, que se desarrolla a temperaturas de cocción bajas y que puede dar lugar a problemas de inocuidad alimentaria por una inadecuada cocción del producto (Yuan y Kim, 2015). Por otra parte, el nitrógeno es un gas inerte, pero se utiliza como agente de relleno para impedir que el empaque se colapse, particularmente en mezclas de ultra bajo contenido de oxígeno y una elevada concentración de CO₂. El argón y helio también se han empleado en lugar del nitrógeno (Mazzola y Sarantopoulos, 2019).

Las mezclas con ultra baja concentración de oxígeno emplean CO₂ en niveles del 20 al 90% para inhibir el desarrollo de microorganismos aerobios y prevenir las reacciones de oxidación, incluso durante varias semanas. En esta mezcla es necesario asegurar que la concentración de oxígeno residual sea inferior al 1% para carne cerdo y de 0.05% para carne de res para evitar la formación de metamioglobina. Sin embargo, bajo estas condiciones existe la posibilidad de que algunas bacterias anaerobias como *Clostridium botulinum*, *Listeria monocytogenes* y *Yersinia enterocolitica*, entre otras, puedan desarrollarse (Doulgerakia y col., 2012). El CO₂ disminuye la velocidad de crecimiento de bacterias alterantes debido a que penetra al interior de la célula modificando el pH intracelular y la actividad metabólica; además en medio acuoso genera ácido carbónico que ejerce acción antimicrobiana, aunque algunas bacterias anaerobias pueden sobrevivir y desarrollarse. El CO₂ reduce la formación de oximioglobina al desplazar al oxígeno por lo que se

pueden observar tonos grisáceos en la carne. Para subsanar esta situación es común el empleo de una doble película de sellado, conformada por una la película permeable al oxígeno y una película externa impermeable, esta última se retira en el punto de venta para permitir el “Bloom” o formación de oximioglobina. Otra alternativa incluye la incorporación de monóxido de carbono (CO) en bajos niveles (0.2 a 0.5%) para la formación de carboximio-globina (COMb) que posee un color rojo brillante; este gas tiene efecto bacteriostático, pero debe manejarse con precaución ya que puede ser tóxico para los operarios. Una de las mezclas de gases de mayor uso incluye CO₂ (30-60%), CO (0.45%) en combinación con N₂ (40-70%) (Djenane y Roncalés, 2018). El sistema MAP se emplea mayormente en sistemas de envasado centralizado para carne fresca y productos cárnicos listos para su venta (case-ready), requiere de mayor sofisticación de la maquinaria empleada, del control preciso en la composición de la mezcla de gases, así como de cuidadosa selección de materiales de alta barrera a la humedad y oxígeno, además de la integridad del sellado, ya que se debe preservar el ambiente gaseoso creado. Los envases para MAP constan de dos componentes, una bandeja semirrígida donde se deposita el producto, y una película flexible para recubrir y sellar (Kerry y Tyuftin, 2017).

8.4.4 Materiales de película

Las películas sintéticas o plásticas son ampliamente usadas para empa-car carne fresca y productos cárnicos, debido a que en general poseen una alta resistencia química y física, además de excelentes propiedades de transpa-rencia y de barrera contra la humedad y gases. Son ligeras, de fácil manejo y bajo costo; pueden moldearse en diversos formatos ya sea flexibles o rígidos y con diversos grados de espesor y transparencia; además son fácilmen-te termosellados e imprimibles. Sin embargo, la presencia de residuos de monómeros, catalizadores y otros aditivos de polimerización (plastificantes, colorantes, protectores de radiación UV, lubricantes, agentes antiestáticos, etcétera) podrían migrar hacia el alimento por lo que se debe verificar su uso dentro de los límites permitidos para la elaboración de materiales de que estarán en contacto con alimentos. Los materiales más comunes para la elaboración de películas plásticas incluyen el polietileno de baja densi-dad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE), el polipropileno biorienta-

do (BOPP), el polipropileno (PP), el tereftalato de poliéster (PET), poliestireno (PS), el cloruro de polivinilo (PVC), el alcohol etilen-vinilo (EVOH) y el nylon entre otros. Dado que los materiales de forma individual no cubren los requerimientos de barrera, es común el empleo de combinaciones dos y hasta nueve materiales, ya sea laminados o coextruidos para formar una película de alta barrera (Mazzola y Sarantopoulos, 2019). La norma NMX-E-232-CN-CP-2011 así como la Ley de Residuos Sólidos de la Ciudad de México (2019) establecen los códigos de identificación para facilitar los procesos de separación, recolección, reciclado y aprovechamiento. A partir de materiales como el PE, PP y PS se pueden obtener derivados biodegradables, ya sea oxo-biodegradables (biodegradación por captación de oxígeno), hidro-biodegradables (por absorción de agua) o foto-biodegradables (por acción de la luz) derivado de la incorporación de aditivos que aceleran de 100 a 1000 veces la degradación para plásticos totalmente biodegradables (TDPA) aprobados por la FDA y la SCF para contacto con alimentos. La Ley de Residuos Sólidos de la Ciudad de México (2019) define a los materiales biodegradables como aquellos capaces de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua y componentes inorgánicos como resultado de la acción de microorganismos. A diferencia de ellos, los materiales compostables son también susceptibles a biodegradarse pero a menor velocidad, como mínimo al 90% en seis meses si es sometido a un ambiente de dióxido de carbono o en contacto con materiales orgánicos; además, después de dos meses, el material debe estar en un 90% formando fragmentos con dimensiones inferiores a 2 mm.

8.4.5 Empaques activos e inteligentes

Los empaques activos e inteligentes incluyen a los empaques que interactúan con el producto y pueden regular los cambios del producto o de la atmósfera al interior del envase y con ello mejorar la vida útil. En general, estos empaques pueden eliminar compuestos indeseables del producto y liberar antioxidantes o inhibidores del desarrollo microbiano; por lo que es común el uso de absorbedores de oxígeno y/o agua, aromas y CO₂. Por otra parte, los envases inteligentes registran y brindan información al fabricante y al consumidor, ya que incluyen indicadores de tiempo-temperatura, o detectan algún cambio en el empaque, como fugas, cambios en la humedad o la presencia de algún compuesto asociado a la descomposición o algún otro

parámetro de calidad (Lui y col., 2017; Zhou y col., 2010; Ahmed y col., 2017; McMillin, 2017).

El objetivo de los materiales activos es potencializar la función protectora hacia el alimento, asegurando la calidad e inocuidad, incrementando la vida de anaquel del producto, protegiéndolo directamente contra los agentes responsables de la alteración como la rancidez, decoloración y desarrollo microbiano. En la actualidad, las aplicaciones de empaques activos están restringidas al sector de la cadena de distribución, aunque son cada vez más los productos de venta directa al consumidor final que se elaboran bajo este concepto. Ejemplos de agentes activos incluyen a los ácidos orgánicos (ácido láctico, ácido propiónico, ácido benzoico), **ácidos grasos (ácido láurico y sus derivados)**, bacteriocinas o péptidos con actividad antimicrobiana (nisina, pediocina, y lacticina), enzimas (lizosima, lactoferrina, glucosa oxidasa), extractos de vegetales y aceites esenciales (tomillo, salvia, orégano, romero, aguacate, naranja, limón, té verde, limoneno, antocianinas), agentes quelantes (citratos, EDTA, el sistema lactoperoxidasa), óxidos metálicos (ZnO, TiO, CuO) derivados de la plata (AgSiO₂ y plata coloidal), entre otros (Calderón-Oliver y col, 2020; Han, 2000; Han y Krochta, 2007; Liu y col., 2017; Ko y col., 2001; Min y col., 2005; Min y Oh, 2009; Quintero-Salazar y col., 2006; Murillo-Martínez, 2013). Todos estos compuestos son capaces de inhibir el crecimiento de bacterias como *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* sp, *Escherichia coli*, y *Pseudomonas* spp. La implementación de agentes antimicrobianos en materiales biodegradables para la fabricación de películas y recubrimientos en la industria del empaque de alimentos es un área en desarrollo (Fernández Álvarez, 2000; Coma, 2008; Quintero-Salazar y Ponce-Alquicira, 2007; Zhou y col., 2010; Kerry y Tyuftin, 2017).

8.4.6 Materiales nanocompuestos y biodegradables

Los materiales nanocompuestos constituyen una nueva generación de materiales de empaque formadas por una matriz de un plástico sintético con contienen nanopartículas de otros materiales de relleno, como fibras de carbono, grafeno, vidrio o silicatos. Estas partículas mejoran las propiedades de barrera y mecánicas acorde a las necesidades del producto, aunque su mayor desventaja es el alto costo y la escasa disponibilidad. Algunos mate-

riales nanocompuestos incluyen EVOH-copolimerizado con óxido de grafito o grafeno, o el policarbonato de propileno (PPC). Este último es un material muy prometedor por su bajo costo y biodegradabilidad, pero tiene baja resistencia mecánica, por lo que se emplea en películas compuestas junto con alcohol de polivinilo (Dong y col., 2015; Gennadios y col., 1997; McMillin, 2008 y 2017).

Los plásticos biodegradables y comestibles son aquellos que se pueden descomponer por la acción enzimática de hongos, levaduras y mohos hasta CO₂ o metano y agua, bajo condiciones anaeróbicas en procesos de composteo o en rellenos sanitarios. Lo anterior en respuesta al impacto ambiental que genera el uso de materiales sintéticos no biodegradables. Acorde con reportes de la Agencia Americana de Protección Ambiental (EPA), los empaques de alimentos generan dos terceras partes del total de los residuos municipales. Se han empleado bio-plásticos como el ácido poliláctico (PLA), polihidroxialcanoato (PHA) y polyhidroxibutirato (PHB) obtenidos por fermentación microbiana; estos bio-plásticos presentan propiedades mecánicas similares a las películas sintéticas. Además, se han empleado mezclas de proteínas, polisacáridos y algunos lípidos, como almidones nativos y modificados, quitina, quitosano, alginato, dextrinas, pectinas y la celulosa o sus derivados como el bambú, caña de azúcar, residuos de maíz (Liu y col., 2017; López-Hernández y col., 2018). En el caso de proteínas destacan, por su funcionalidad y transparencia, las proteínas de suero de leche, además de otras como la caseína, colágeno, gelatina, gluten, zeína y soya, entre otras (Murillo-Martínez y col., 2013; Quintero y col., 2006). En general, las matrices poliméricas obtenidas de proteínas y/o polisacáridos tienen buenas propiedades de barrera, pero tienden a deshidratarse; para evitar este fenómeno, la solución formadora de película se mezcla con ceras o ácidos grasos, mejorando así las propiedades de barrera al vapor de agua. Adicionalmente, se emplean agentes plastificantes, como el glicerol, el sorbitol y otros polialcoholes que mejoran las propiedades de flexibilidad, tenacidad y de barrera de las películas y recubrimientos. El uso de estos materiales de película en la industria de alimentos cobra cada vez mayor relevancia, con aplicaciones piloto para productos cárnicos (Marsh y Bugusu, 2007; Quintero-Salazar y Ponce-Alquicira, 2007; Murillo-Martínez y col., 2013).

Una ventaja adicional de estos materiales de empaque biodegradables es que pueden servir de vehículo de una gran variedad de agentes funcionales facilitando la creación de empaques activos, así como la posible reducción de conservadores en productos etiqueta limpia (Ahmed y col., 2017; Brody, 2007a y 2007b; Coma, 2008; McMillin, 2017; Min y col., 2009; Olivas y Barbosa-Cánovas, 2008; Zhou y col., 2010).

Independientemente del tipo de material, algunas propiedades que determinan la selección de estos materiales de empaque incluyen la resistencia mecánica, propiedades de barrera asociadas a una baja permeabilidad a gases, aromas, vapor de agua, oxígeno, eficiencia del sellado, facilidad de impresión y costo. Aspectos como la funcionalidad y el impacto ambiental cobran cada día mayor relevancia.

Las características de barrera, así como las propiedades mecánicas y funcionales de los materiales de empaque dependen de la composición de la matriz de película y del proceso de elaboración. Con el advenimiento de la ingeniería de nanomateriales es posible rediseñar los materiales de empaque con propiedades mecánicas y de barrera a la medida de cada necesidad y producto (Schumann y Schmid, 2018). La nanotecnología permite incorporar compuestos activos y controlar la velocidad con la que éstos migran hacia el alimento. La incorporación de nano-arcillas (diámetro menor a 100 nm) en matrices de polímeros plásticos puede retardar la difusión del oxígeno y gases a través de la película, y mejorar las propiedades de barrera a gases en materiales que poseen una barrera pobre a la difusión de oxígeno como el polietileno y el PLA. Adicionalmente, es posible incorporar agentes antimicrobianos, o de algún otro agente activo, en un sistema de empaque multicapas, donde la capa externa corresponda a un empaque tradicional y la capa interna contenga nano-partículas de agentes activos, o incluso carbón activado para evitar la absorción de aromas indeseables. Otros autores señalan la posibilidad de elaborar empaques híbridos por la combinación de una matriz de un polímeros sintéticos y biopolímeros para facilitar la degradación de los materiales de película (Ahmed y col., 2017; Brody, 2007a y 2007b; Schumann y Schmid, 2018).

8.5 Conclusiones

En este capítulo se revisaron diversas tecnologías alternativas, que en general ofrecen nuevas oportunidades para el desarrollo de productos y procesos. El efecto antimicrobiano se acompaña de una mínima afectación nutricional y sensorial, reduciendo al mismo tiempo los costos y el tiempo de operación, mediante el reemplazo parcial o total de los procesos de conservación convencionales para la obtención de productos seguros y de alta calidad. Si bien estas tecnologías ofrecen ventajas, aún se tienen algunas restricciones tecnológicas y comerciales, particularmente en los sistemas de control y automatización de los procesos. Las principales ventajas incluyen un menor consumo energético y en consecuencia una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero y un menor impacto en la huella de carbono.

Bibliografía

Ahmed I., Lin H., Zou L., Brody L., Li Z., Qazi I.M., Pavase T.R., Lv L. (2017). A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods. *Food Control*, 82:163-178.

AESA-2003-007. (2004). Opinión del Comité científico de la AESA sobre una cuestión presentada por la Dirección Ejecutiva, en relación con la aplicación de altas presiones en carne y productos cárnicos. Mayo, 2004.

Ahn D.U., Mendonça A.F., Feng X. (2017). The storage and preservation of meat: II -Nonthermal technologies. Capítulo 8 en: *Lawrie's Meat Science*. Elsevier, 231-260.

Alarcón-Rojo A.D., Carrillo-López L.M., Reyes-Villagrana R., Huerta-Jiménez M., García-Galicia I.A. (2018). Ultrasound and meat quality: A review. *Ultrasonics-Sonochemistry*, 369-382.

Avure HPP <https://www.avure-hpp-foods.com/hpp-foods/meats/> (febrero, 2020).

Banerjee R., Maheswarappa N.B. (2017). Superchilling of muscle foods: Potential alternative for chilling and freezing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 59:1-8.

Barbieri G., Rivaldi P. (2008). The behavior of the protein complex throughout the technological process in the production of cooked cold meats. *Meat Science*, 80(4):1132-1137

Barbosa-Cánovas G.V., Bermúdez-Aguirre D. (2010). Procesamiento no térmico de alimentos. *Scientia Agropecuaria* 1:81-93.

Barbosa-Cánovas G.V., Medina-Meza I., Candogan K., Bermudez-Aguirre D. (2014). Advanced retorting, microwave assisted thermal sterilization (MATS) and pressure assisted thermal sterilization (PATS) to process meat products. *Meat Science*, 98:420-434.

Bermúdez-Aguirre D., Barbosa-Cánovas G. (2011). An update on high hydrostatic pressure from the laboratory to industrial applications. *Food Engineering Rev.*, 3:44-61.

Brody A. (2007a). Nanocomposite technology in food packaging. *Food Technology*, 10:80-83.

Brody A. (2007b). What's new in packaging. *Food Technology*, 9:113-118.

Casas-Alencáster N.B., Pardo-García D.G. (2005). Análisis de perfil de textura y propiedades de relajación de geles de mezclas almidón de maíz ceroso entrecruzado-gelana. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 4(1): 107-121.

Calderón Oliver M., Escalona Buendía H.B., Ponce-Alquicira E. (2020). Effect of the addition of microcapsules with avocado peel extract and nisin on the quality of ground beef. *Journal of Food Science & Nutrition*, 1359:1-9.

Cao J.X., Wang F., Li X., Sun Y.Y., Wang Y., Ou C.R., Shao X.F., Pan D.D., Wanh D.Y. (2018). The influence of microwave sterilization on the ultrastructure, permeability of cell membrane and expression of proteins of *Bacillus cereus*. *Frontiers in Microbiology*, 9:1870-4.

Choi SH., Cheigh CI., Chung MS. (2013). Optimization of processing conditions for the sterilization of retorted short-rib patties using the response surface methodology. *Meat Science* 94 (2013) 95-104.

Clariana M., Guerrero L., Sárraga C., Díaz I., Valero A., García-Reguero J.A. (2011). Influence of high-pressure application on the nutritional, sensory and microbiological characteristics of sliced vacuum packed dry-cured ham. Effects along the storage period. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 12:456-465.

Clark P. (2006). High-Pressure Processing Research continues. *Food Technology*, 2:63-65.

Clark P. (2007). High-Pressure Effects on foods. *Food Technology*, 5:69-71.

CODEX STAN 106-1983, Rev. 1-2003 <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/es/> (fecha de consulta marzo, 2020).

Coma V. (2008). Bioactive packaging technologies for extended shelf-life of meat-based products. *Meat Sci.*, 78:90-103

Considine, K.M., Kelly A.L., Fitzgerald G.F., Hill C., Sleator R.D. (2008). Mini review High-pressure processing effects on microbial food safety and food quality. *FEMS Microbiology*, 281:1-9.

- Demazeau G. Rivalain N. (2011). The development of high hydrostatic pressure processes as an alternative to other pathogen reduction methods. *Journal of Applied Microbiology* 110:1359-1369.
- Diong X., Holley R. (2009). High hydrostatic pressure effects on the texture of meat and meat products. *Journal of food science*, 75(1):R17-R23.
- Djenane D., Roncalés P. (2018). Carbon monoxide in meat and fish packaging: advantages and limits, Review. *Foods MDPI*, 7(12):3-34.
- Dong T., Yun X., Li M., Sun W., Duan Y., Jin Y. (2015). Biodegradable high oxygen barrier membrane for chilled meat packaging. *J Appl Polym Sci*.41847(1-8) DOI:10.1002/APP.41871
- Doulgerakia A.I., Ercolini D., Villani F., Nychas GJE (2012). Spoilage microbiota associated to the storage of raw meat in different conditions. *Int. J. Food Microbiology*, 157(2):130-141.
- EPSI <https://epsi-highpressure.com> (febrero, 2020).
- Fernández Álvarez M. (2000). Revisión: Envasado activo de los alimentos. *Food Science Technology International*, 6(2):97-108.
- Fernández Bussy S., Labarca G., Lanza M., Folch E., Majid A. (2016). Aplicaciones torácicas del ultrasonido. *Revista Médica de Chile*, 144(7):903-909.
- Gennadios A., Hanna, M.A., Kurth, L.B. (1997). Application of edible coatings on meats, poultry and seafoods. *Lebensm. Wiss.* 30:337-350.
- Gómez B., Munekata P.E.S., Gavahian M., Barba F. J., Martí-Quijal F. J., Bolumar T., Bastianello Campagnol P. C., Tomasevic I., Lorenzo J. M. (2019). Application of pulsed electric fields in meat and fish processing industries: an overview. *Food Research International*, 123:95-125.
- Guerreiro T. M., Oliveira DN., Rodrigues Melo CFO., Oliveira Lima E., Ramos Catharino R. (2018). Migration from plastic packaging into meat. *Food Research International*, 109:320-324.
- Han JH. y Krochta JM. (2007). Physical properties of whey protein coating solution and films containing antioxidants. *Journal of Food Science*, 72:E308-E314.
- Han L., Ziuzina D., Heslin C., Boehm D., Patange A., Sango D.M., Valdramidis V.P., Cullen P. J., Bourke P. (2016). Controlling microbial safety challenges of

meat using high voltage atmospheric cold plasma. *Frontiers in Microbiology*, 7:977.

Han Y., Xu X., Jiang Y., Zhou G., Sun X., Xu B. (2010). Inactivation of food spoilage bacteria by high pressure processing: Evaluation with conventional media and PCR-DGGE analysis. *Food Research International*, 43:1719-1724.

Hayman MM., Baxter I., O'Riordan P.J., Stewart CM. (2004). Effects of high-pressure processing on the safety, quality, and shelf life of ready to eat meats. *Journal of Food Protection*, 67(8):1709-17018.

Hiperbaric <https://www.hiperbaric.com/es/> (febrero, 2020).

Kameník J. Salakova A., Hulankova R., Borilova G. (2015). The effect of high pressure on the microbiological quality and other characteristics of cooked sausages packed in a modified atmosphere or vacuum. *Food Control*, 57: 232-237.

Keklik M.N., Demirci A., Puri V.M. (2010). Decontamination of unpacked and vacuum-packaged boneless chicken breast with pulsed ultraviolet light. *Poultry Science*, 89(3):570-581.

Keklik M.N., Krishnamurthy K., Demirci A. (2012). Microbial decontamination of food by ultraviolet (UV) and pulsed UV light. Capítulo 12 En: *Microbial decontamination in the food industry: Novel Methods and Applications*. Demirci A. y Ngadi M. O. Woodhead Publishing Ltd. 344-369.

Kerry J.p., Tyuftin A.A. (2017). Storage and preservation of raw meat and muscle-based food products: IV storage and packaging. Capítulo 10 en: *Lawrie's Meat Science*. Elsevier Ltd., 297-325.

Kim H.J., Lee Y.J., Eun J.B. (2014). Changes in the microbial characteristics of Korean native cattle (Hanwoo) beef exposed to ultraviolet (UV) radiation prior refrigeration. *Korean journal for Food Science of animal resources*, 34(6):815-821.

Ko S., Janes M.E., Hettiarachchy N.S., Johnson M. G. (2001). Physical and chemical properties of edible films containing nisin and their action against *Listeria monocytogenes*, *Journal of Food Science*, 66:1006-1011.

Kobelco Steel <https://www.kobelco.co.jp/english/products/ip/technology/food.html> (febrero, 2020).

- LeBail A., Chevalier D., Mussa D.M., Ghoul M. (2002). High pressure freezing and thawing of foods: a review. *International Journal of refrigeration*, 25(5):504-513.
- Lee J., Lee C.W., in Young H., Lee H.J., Jo C., Jung S. (2017). Use of atmospheric pressure colds plasma for meat industry. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(4):477-485.
- Ley de residuos sólidos de la Ciudad de México (2019). Gaceta oficial de la Ciudad de México, 25 de junio. <https://plastico.com.mx/wp-content/uploads/2019/06/Decreto-Ley-de-Residuos-Sólidos-del-DF-1.pdf>. (consultado Marzo, 2020)
- Leygonie C., Britz T.J., Hoffman L.C. (2012). Impact of freezing and thawing on the quality of meat: review. *Meat Science*, 91(2):93-98.
- Lui B., Xu H., Zhao H., Zhao L., Li Y. (2017). Preparation and characterization of intelligent starch/PVA films for simultaneous colorimetric indication and antimicrobial activity for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*, 157:842-849.
- López M., Calvo T., Prieto M., Múgica Vidal R., Muro-Fraguas I., Alba-Elias F., Alvarez-Ordóñez A. (2019). A review on non-thermal atmospheric plasma for food preservation: mode of action, determinants of effectiveness and applications. *Frontiers in Microbiology*, 10:622.
- López-Hernández L.H., Calderón-Oliver M., Soriano Santos J., Severiano Pérez P., Escalona Buendía H., Ponce-Alquicira E. (2018). Development and antioxidant stability of edible films supplemented with a tamarind seed extract [Desarrollo y estabilidad antioxidante de películas comestibles agregadas con un extracto de semillas de tamarindo. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 17(3):975-987.
- Marsh K., Bugusu B. (2007). Food Packaging-roles, materials, and environmental issues. *Journal of Food Science*, 72(3):R39-R55.
- Mazzola N., Sarantopoulos C.I.G.L. (2019). Packaging design alternatives for meat products. En prensa. Intechopen, 88586
- McLeod A., Liland K.H., Haugen J.E., Sørheim O., Myhrer K.S., Holck A.L. (2017). Chicken fillets subjected to UV-C and pulsed UV light: Reduction of

pathogenic and spoilage bacteria and changes in sensory quality. *Journal of Food Safety*, 38(1):1-15.

McMillin K.W. (2008). Where is MAP Going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. *Meat Science*, 80(1):43-65.

McMillin K.W. (2017). Advancements in meat packaging. *Meat Science*, 132:153-162.

Min B.I., Oh J.H. (2009). Antimicrobial activity of catfish gelatin coating containing organum oil against gram-negative. *Journal of Food Science*, 74(4): M143-8.

Min S., Harris L.J., Krochta J.M. (2005). *Listeria monocytogenes* inhibition by whey protein films and coatings incorporating lysozyme. *Journal of Food Protection*, 68(11):2317-2325.

Murillo-Martínez M.M., Tello-Solís S.R. García-Sánchez M.A., Ponce-Alquicira E. (2013). Antimicrobial activity and hydrophobicity of edible whey protein isolate films formulated with nisin and/or glucose oxidase. *Journal of Food Science*, 78(4): M560-M566.

Nan F., Fang-Fei L., Dang M., Xia N. (2015). Characteristics and application of non-thermal sterilization technology in meat products processing. *Journal of Food Safety and Quality* 6(2):540-544.

NMX-E-232-CNCP-2011. DOF 21/09/2011 <http://dof.gob.mx/> (marzo, 2020).

OECD/FAO. (2017). "Meat" in OECD/FAO Agricultural outlook 2017-2026, OECD Paris. DOI 10.1787/agr_outlook-2017-es.

Olivas G.I. y Barbosa-Cánovas G.V. (2008). Alginate-calcium films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizer and relative humidity, *LWT*, 41:359-366.

Oliveira M.R., Gubert G., Roman S.S., Kempka A.P. Prestes R.C. (2015). Meat quality of chicken breast subjected to different thawing methods. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 17(2):165-172.

Organización Mundial de la Salud (2015). Estimaciones de la OMS sobre la carga mundial de enfermedades de transmisión alimentaria. WHO/FOS/15.02 https://www.who.int/foodsafety/publications/foodborne_disease/fergreport/es/ (fecha de consulta febrero, 2020).

Ponce-Alquicira E. (2006). Canned poultry. Chapter 166. En: Handbook of food science, vol. 4. Editorial CRC Taylor and Francis. Editores: YH Hui, JD Culbertson, S. Duncan, I. Guerrero-Legarreta, ECY Lin., CY. Ma, CH Manley, TA McMeekin, WK Nip, F. Toldrá. Pp 166-1-166-12.

Quintero-Salazar B. y Ponce-Alquicira E. (2007). Edible packaging for poultry and poultry products. En: Handbook of food products manufacturing Vol. 2. Editor Y.H. Hui, John Wiley & Sons, Inc. EUA. Pag. 796-815.

Quintero Salazar B., Vernon-Carter E.J., Guerrero-Legarreta I., Ponce-Alquicira E. (2006). Incorporation of antilisterial bacteriocin-like inhibitory substance from *Pediococcus parvulus* VKMX133 into film-forming protein matrices with different hydrophobicity. Journal of Food Science, 70:M398-M403.

Rahman Uu., Sahar A., Ishaq A., Aadil R.M., Zahoor T., Ahmad M.H. (2018). Advanced meat preservation methods: A mini review. Journal of Food Safety 38:e12467.

Rowan N.L. (2019). Pulsed light as an emerging technology to cause disruption for food and adjacent industries - Quo vadis? Trends in Food Science and Technology, 88:316-332.

Shamis Y., Taube A., Mitik-Dinaeva N., Croft R., Crawford R.J., Ivanova E.P. (2011). Specific electromagnetic effects of microwave radiation on *Escherichia coli*. Applied and Environmental Microbiology, 77(9):3017-3022.

Schumann B., Schmid M. (2018). Packaging concepts for fresh and processed meat - Recent progresses. Innovative Food Science Emerging Technologies, 47:88-100.

Souza CM., Boler, DD., Clark D.L., Kutzler L.W., Holmer S.F., Summerfield J.W., Cannon J.E., Smit N.R., McKeith F.K., Killefer J. (2011). The effects of high-pressure processing on pork quality, palatability and further processed products. Meat Science 87:419-427.

Stermer R.A., Lasater-Smith M., Brasington C.F. (1987). Ultraviolet radiation-An effective bactericide for fresh meat. Journal of Food protection, 50(2):108-111.

Thirumdas R., Sarangapani Ch., Annapure US. (2015). Cold Plasma: A novel Non-Thermal Technology for Food Processing. Food Biophysics, 10:1-11.

- Tulk C.A., Molaison J.J., Makhluf A.R., Manning C.E., Klug D.D. (2019). Absence of amorphous forms when ice is compressed at low temperature. *Nature* 569:542-545.
- Turantas F., Basyigit G., Kiliç B. (2015). Ultrasound in the meat industry: general applications and decontamination efficiency. *International Journal of Food Microbiology*, 198(2):59-69.
- Ustunol Z. (2009). Edible films and coatings for meats and poultry. Chapter 8 En: *Edible films and coatings for food applications*. Kerry C. Huber. Springer. EUA. Pags. 245-268.
- Velázquez G., Vázquez M., Torres J.A. (2009). Procesamiento por alta presión hidrostática. Capítulo 21 en *Tecnología de productos de origen acuático*. Compiladores: Guerrero-Legarreta I., Rosmini M.A., Armenta R. Editorial Limusa, 1ra edición, pp379.
- Velazquez G., Vázquez P., Vázquez M., Torres J. A. (2005). Aplicaciones del procesado de alimentos por alta presión. *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 4(5):343-352
- Vercammen A., Vanoirbeek K., Lurquin I., Steen L., Goemaere O., Szczepaniak S., Paelink H., Hendrickx M., Michiels C.W. (2011). *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 12:407-415.
- Woo I.S., Rhee I.K., Park H.D. (2000). Differential damage in bacterial cells by microwave radiation on the basis of cell wall structure. *Applied Environmental Microbiology*, 66(5):2243-2247.
- Wu X.F., Zhang M., Adhikari B., Sun J. (2017). Recent developments in novel freezing and thawing technologies applied to foods, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(17):3620-363.
- You Y., Her J.Y., Shafel T., Kang T., Jun S. (2020). Supercooling preservation on the quality of beef steak. *Journal of Food Engineering*, 274:109840.
- Zhou G.H., Xu X.L., Liu Y. (2010). Preservation technologies for fresh meat - A review. *Meat Science*, 86:119-128.

Carne.

Conceptos desde su producción hasta su conservación
se terminó de imprimir en diciembre de 2020,
en los talleres de DocuMaster, Av. Coyoacán 1450,
Col. Del Valle, Benito Juárez, C.P. 03220
La edición consta de 200 ejemplares
más sobrantes para reposición.

Formación:



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD IZTAPALAPA

División de Ciencias Biológicas y de la Salud

Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco, Núm. 186,
Col. Leyes de Reforma 1a. Sección,
Alcaldía Iztapalapa, C.P. 09310, Ciudad de México
Tel.: 5558044600



9 786072 819672