

**[J C.e.n.tro. de Inve:s.tig_ación. e.n
Alim.e.nta.ción y Desarrollo . A.C.**

**EFFECTO DE LOS CICLOS CONGELACIÓN-DESCONGELACIÓN
SOBRE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES PROTEICAS Y DE
CALIDAD DE LA CARNE DE AVESTRUZ**

POR

JOSÉ FELIPE ALEMÁN ESCOBEDO

DIRECCIÓN DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS DE ORIGEN
ANIMAL

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRIA EN CIENCIAS

APROBACION

Los miembros del comité designado para revisar la tesis de José Felipe Alemán Escobedo, la han encontrado satisfactoria y recomiendan sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias

Dra Natalia F. González Méndez
Director de Tesis

Dr. Juan Pedro Camou Arriola

M.C. Libertad Zamorano García

M.C. Humberto González Ríos




M.C. Martín Valenzuela Melendres

DECLARACION INSTITUCIONAL

Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé el crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del director del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C (CIAD).

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos a CIAD, previa aprobación escrita del manuscrito en cuestión, del director de la tesis.



Dr. Alfonso A. Gardea Béjar
Director General

DEDICATORIA

Al ser que a cada momento me recordó que la vida es maravillosa y que no permitió que olvidara al niño que me acompaña en cada momento de mi vida.

!! Gracias Fliper !!

"...Dios ha creado al hombre de manera especial e individual, de él, y solo de él depende como construya su destino..."

M.C. José Felipe " Fliper " Alemán Escobedo

RECONOCIMIENTOS

A la Dra. Natalia F. González Méndez: Por darme su apoyo total e incondicional durante mi estancia en la maestría, por siempre estar allí para brindarme sus consejos que me ayudaron a superar los obstáculos que se me presentaron y por enseñarme que no hay mejor arma para enfrentar la vida que el conocimiento. *Gracias Mamá Tali !!*

Al Dr. Juan Pedro Camou Arriola: Por tomar las riendas de mi proyecto y dirigirlo de manera exitosa, pero sobre todo, gracias por los excelentes y muy acertados consejos, y aún más por la invaluable amistad.

A los M. C. Libertad Zamorano García, Humberto González Ríos y Martín Valenzuela Meléndrez: Gracias por los consejos y el apoyo brindado para la realización de ésta tesis y por enseñarme a siempre dar el máximo en lo que hago y por hacerme ver que no todo en la vida es juego. *No se preocupen, algún día maduraré espero.*

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. y personal:
Por las facilidades y apoyo brindadas para la realización de éste trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología: Por brindarme la oportunidad de realizar una maestría a través de su programa de Becas-Crédito.

A Fundación Produce Sonora, A.C., Avestruces de Sonora, S.A. de C.V., miembro de la Asociación de Productores de Avestruz en Sonora: Por el apoyo económico y su aportación de los animales necesarios para este proyecto de investigación.

A mis compañeros del área de carnes: Germán Cumplido, Dra. Alda Peña, Dr. Gastón Torrescano, Dra. Armida Sánchez, Sayda, Rafael, Edgar, Ana y Lily. Gracias por su apoyo, consejos y amistad durante mi estancia en el laboratorio de carnes.

A la Dra. Ana María Calderón de la Barca Cota: Gracias por todo el apoyo durante mi estancia en la institución y por que alguna vez sembraste en mi la semilla de la investigación. *Thank's Doc.*

AGRADECIMIENTOS

A mis padres: Gracias por brindarme siempre su amor, comprensión y apoyo incondicional.

A mis abuelas y abuelo: Porque donde quiera que voy llevo su recuerdo y todas sus enseñanzas conmigo. Gracias donde quiera que estén y porque algún día nos volvamos a encontrar.

A mis Hermanas: Por su cariño y sigan adelante luchando por lo que quieren en la vida.

A Maryfer: Gracias bebé por tu apoyo, comprensión, paciencia y muchas cosas más, pero sobre todo gracias por estar a mi lado y ser la mujer que llena mi corazón con amor y cariño.

|| Te Amo Chiquita Piciosa ||

A mis compañeros y amigos: LuzMa, Yerén "Sulfametazina", Anita "Llévame la contra", Nidia "Baby Pachona", Cony, Arita "Bombón", Alejandra "Matrix", Jorge "Negro", Erick "Chaparro", Héctor, Juan Pablo, Claudia, Katia, Saúl, Ricardo, Lyssia, Iliana, Tania, Azucena "Márgara", Víctor "Márgaro", Enrique

"Pokemón", Mariana, Sabrina, Silvia, etc... Mil gracias por su amistad, por nunca permitir que me sintiera solo y por todos los momentos agradables que pasamos juntos.

A los Kagñales: Isaías, Paúl, Lalo, Charlie, Davis y Jacob, por nuestros años de amistad y porque siempre habrá un tiempo para un "six" y un juego de billar, y como siempre.....

!! VIVA LA CHEVE !!

Y a todos aquellos que estuvieron presentes y que me ayudaron a escribir alguna página de ese libro personal al que llamo vida...

!! Muchísimas Gracias !!

ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE CUADROS	xi
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	4
Generalidades del Avestruz	4
Estructura y Composición del Músculo	9
Proteínas del Músculo	13
Sarcoplásmicas	16
Miofibrilares	17
Propiedades Funcionales y de Calidad de la Carne	19
Capacidad de Emulsificante	20
Gelificación	23
Capacidad de Retención de Agua.....	24
Color	26
Textura	28
Potencial de Hidrógeno	30
Métodos de Conservación por Frío	31
Refrigeración	32
Congelación	33

Proceso de Congelación	34
Formación de Cristales	37
Velocidad de Congelación	38
Métodos de Congelación	39
Cambios Químicos y Físicos	42
Almacenamiento	43
Descongelación	45
MATERIALES Y MÉTODOS	48
Área de Estudio	48
Materia Prima	48
Métodos	48
Calidad de la Carne.....	51
Potencial de Hidrógeno	51
Pérdida de Agua	51
Esfuerzo al Corte	52
Color	52
Funcionalidad de Proteínas Solubles en Solución Salina.....	53
Extracción de Proteínas Solubles en Solución Salina	53
Índice de Actividad Emulsificante	54
Gelificación Térmica	55
Fuerza de Gel	55
Pérdida de Agua en Gel	56

Pérdida de Proteína	56
Electroforesis en Gel de Poliacrilamida bajo Condiciones Desnaturalizantes y Reductoras	57
Diseño Experimental y Análisis Estadístico	58
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
Calidad de la Carne.....	59
Potencial de Hidrógeno	59
Pérdida de Agua en Carne	62
Color	65
Esfuerzo al Corte	67
Funcionalidad de Proteínas Solubles en Solución	68
Proteína Soluble en Solución Salina	68
Electroforesis en Gel de Poliacrilamida bajo Condiciones Desnaturalizantes y Reductoras	72
Índice de Actividad Emulsificante	75
Compresión de Gel	78
Pérdida de Agua en Gel	80
Pérdida de Proteínas	81
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXOS	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág
1	Diagrama con los Músculos Externos de la Canal de Avestruz	8
2	Tipos de Cortes en Carne de Avestruz	10
3	Esquema de la Estructura y Componentes del Músculo Estriado	14
4	Evolución Típica de la Temperatura en un Punto de la Muestra (Carne) Sometida a Congelación	36
5	Forma Geométrica de las Zonas de Flujo de Calor en un Producto Alimenticio	40
6	Evolución de la Temperatura en el Alimento Durante la Congelación	41
7	Ubicación Anatómica del Corte Conocido como <i>Tip</i> en la Canal de Avestruz	49
8	Perfil Proteico de Proteínas Solubles en Solución Salina de la Carne de Avestruz en SDS-PAGE para los Diferentes Tratamientos	73

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Composición Química de la Carne de Algunas Especies Domésticas	6
2	Composición Proximal Promedio en Músculo de Especies para Consumo Humano	11
3	Peso Molecular y Localización de las Principales Proteínas Musculares	15
4	Parámetros de Calidad en Carne de Avestruz Sometida a Diferentes Ciclos de Congelación-Descongelación (Promedio \pm EE)	60
5	Concentración de Proteína Soluble para los Diferentes Tratamientos (Promedio \pm EE)	69
6	Porcentaje de la Cadena Pesada de Miosina y Actina en los Extractos de Proteína Soluble de los Diferentes Tratamientos (Promedio \pm EE)	74
7	Propiedades Funcionales de la Carne de Avestruz Sometida a Diferentes Ciclos de Congelación-Descongelación (Promedio \pm EE)	76

RESUMEN

La carne de avestruz ha representado una nueva opción de consumo en los últimos años, esto debido a que presenta propiedades funcionales y de calidad que son comparables con res, cerdo y pavo. Sin embargo las pérdidas de peso representan un problema importante durante el almacenamiento por no contar con un ciclo de congelación-descongelación apropiado. Se estudió la influencia de la velocidad del proceso de congelación-descongelación sobre las propiedades funcionales proteicas y de calidad en la carne de avestruz. Se utilizó carne de avestruces (24 hrs post mortem), de 1 año de edad, 1 corte utilizado fue el Tip (Moon Steak), el cual fue sometido a diferentes ciclos de congelación-descongelación: 1) congelación rápida a -40°C , descongelación rápida a 20°C (CRDR); 2) congelación lenta a -20°C , descongelación lenta a 2°C (CLDL); 3) congelación lenta, descongelación rápida (CLDR); 4) congelación rápida, descongelación lenta (CRDL). Además se incluyó un control de carne fresca bajo condiciones de refrigeración (24 horas a 2°C). Se realizaron los siguientes análisis de calidad en carne y de funcionalidad en proteína: medición de pH, pérdida de peso en carne, esfuerzo al corte, color, extracción de proteínas solubles en solución salina, índice de actividad emulsificante, fuerza de gel, pérdida de agua, pérdida de proteína y electroforesis en gel de poliacrilamida bajo condiciones desnaturizantes y reductoras. Los datos fueron analizados bajo un diseño unifactorial a través de un análisis de varianza. Cuando existieron diferencias ($P < 0.05$), se hicieron comparaciones de medias por la prueba de rango múltiple de Tukey-Kramer. Además se realizó una matriz de correlación entre las variables de respuesta.

comparaciones de medias por la prueba de rango múltiple de Tukey-Kramer. Además se realizó una matriz de correlación entre las variables de respuesta.

En los resultados obtenidos para pH se encontró que los valores más altos fueron para los tratamientos CRDL 6.56 y CRDH 6.57 lo cual indica una influencia de la congelación sobre esta variable, Para la pérdida de agua, CLDL tuvo menos del 1% (m pérdida contra un 8.29% de CLDL. Los parámetros de color presentaron sus valores más altos en el tratamiento CROL influenciado esto por la pérdida de agua y la concentración de solutos. Así mismo el esfuerzo al corie se vio influenciado por estas variables, obteniéndose para CRDL en valor más alto de esfuerzo con 4.65 Kgf y el menor para CLDL con 2.33, En la extracción de proteína soluble los tratamientos con velocidad de congelación lenta obtuvieron una concentración mayor, esto es CROL 79.62 y CLDL: 72.68 mg de proteína/ml de solución, manteniendo una relación de miosina/actina alta, de acuerdo a la cantidad de proteína total extraída, Esta última relación afectó a las demás propiedades funcionales, como el Índice de capacidad emulsificante donde sus valores más altos fueron en CROL= 1099,52 m²/g y CLDL= 940,02 m²/g, Así mismo los valores de compresión de gel fueron más altos en CRDL 1.176 kgf y el más bajo en CLDL 0.199 Kgf. En la pérdida de agua en gel encontrando valores hasta de 40.08% en CRDL lo que indicaba una matriz proteica débil por la baja proporción de miosina/actina en comparación con otros tratamientos como CHDL donde solo existió una pérdida del 20%. Para la pérdida de proteína en el gel se observó la misma tendencia al

Contrario a lo que se esperaba, se encontró que la mayor pérdida de proteína la obtuvo CRDR con 6.68 mg de proteína/ml de solución y la más baja fue para CRDL con solo 2.72 mg de proteína/ml de solución. El tratamiento que presentó mejores cualidades tanto de calidad como de funcionalidad fue CRDL y se recomienda que se utilice como proceso industrial, para minimizar el daño en las características de calidad y maximizar la funcionalidad de las proteínas miofibrilares.

INTRODUCCIÓN

La carne es un alimento muy importante para el hombre debido a su alto valor nutritivo, con ella es posible elaborar una gran variedad de productos que cuentan con un mercado ampliamente establecido y reconocido en todo el mundo. En este sentido, la carne de avestruz ha representado una opción factible para consumo humano en los últimos años (Rancho Oro Negro, 1999), esto es debido a que tiene excelente sabor, textura y un alto valor nutricional; incluso se le ha llegado a comparar con otras especies como res, puerco, pavo y pollo (Paleari y cols., 1998; De la Masa, 1996). Además, las proteínas miofibrilares de esta carne posee propiedades funcionales como son: capacidad emulsificante y capacidad de retención de agua, comparables con las de otras especies comerciales como puerco, res pavo y pollo, y en algunos casos mejores como la solubilidad y la fuerza de gel (Harris y cols., 1994; Alejandro, 2000). Una desventaja que tiene la carne de avestruz, como la de cualquier otro tipo o especie, es que es un alimento altamente perecedero y necesita de métodos de conservación para alargar su vida útil (Otremba y cols., 1999). En este caso, una alternativa importante para mantener la calidad deseada es el almacenamiento a bajas temperaturas. Bajo estas condiciones, la congelación provee una opción capaz de aumentar el tiempo de almacenamiento de días a años, en algunos casos, y con esto mantener la calidad estable durante este mismo período (Gruda y Postolski, 1990; Girard, 1993). Así mismo es de gran

importancia contar con un buen sistema de descongelación, ya que de ella depende la pérdida de algunos compuestos presentes en los jugos o exudados como lo son las proteínas miofibrilares que a su vez afectan las propiedades funcionales de la carne.

La mayoría de los daños durante la congelación de los productos están dados con relación a la velocidad de congelación. Thumel y Gamm (1995) sostienen que una mayor velocidad de congelación da lugar a una mejor calidad del producto respecto al valor nutritivo, sensorial e higiénico.

Existen en la industria dos tipos de velocidades de congelación lenta y rápida, de las cuales la primera es la que más daño se ha visto que ocasiona a la carne en comparación a la congelación rápida (Gruda y Postolski, 1990; Girard, 1993). Así también la descongelación es un proceso importante, ya que cuando esta operación no se lleva a cabo correctamente desaparecen en gran parte las ventajas de un correcto tratamiento frigorífico (Tressler y cols., 1978).

Un signo característico de la carne descongelada es la pérdida de líquido alcanzado en el proceso de congelación. Cuanto mayor sea esta pérdida se verá reflejado en un mayor daño en las características de calidad en la carne descongelada (Gruda y Postolski, 1990).

Cuando la descongelación de la carne es lenta, se consigue una gran cantidad de reabsorción de agua celular, mientras que en canales rápidamente descongeladas se produce una intensa salida del jugo de la carne. Con este jugo se pierden valiosas sustancias sápidas y minerales, por lo que una carne

descongelada de forma rápida resulta insustancial y de consistencia reseca (Gruda y Postolski, 1990; Girard, 1993).

Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto de los ciclos de congelación-descongelación (combinaciones de lento y rápido) sobre las propiedades funcionales proteicas (solubilidad, gelificación, capacidad de retención de agua y emulsificación) y de calidad (pH, color, textura y esfuerzo al corte) en la carne de avestruz, específicamente del corte conocido como *Tip*.

ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Generalidades del Avestruz

El avestruz (*Struthio camelus*) es el ave más grande que ha logrado sobrevivir hasta nuestros días. Al igual que las otras aves grandes - ñandú, casuario y emú - pertenecen al grupo de aves conocido como rátidas. Estas aves, incluyendo al avestruz, se caracterizan por no poder volar (AZ Ostrich Company, Inc, 2001).

En la naturaleza el avestruz vive en las llanuras de África. También se ha establecido como animal salvaje en algunas regiones de Australia. Su carne y sus plumas siempre han sido muy codiciadas, y por tanto cazado hasta la exterminación en algunos lugares. Tanto fue así, que en el siglo XIX se establecieron granjas en muchas partes del mundo, donde Sudáfrica y Australia llegaron a ser las principales criadoras. Tal implementación dio lugar a razas domésticas, tal y como existen en los caballos, perros, gallinas, etc. En años recientes ha vuelto a crecer el interés y ahora se usa la piel para producir diferentes artículos de alto valor agregado (Jiménez, 2003).

El avestruz macho se diferencia de la hembra por ser más grande, además tiene las plumas del cuerpo negras y las del borde de las alas y cola blancas. El plumaje de las hembras es color gris opaco, con menos plumas blancas en las alas. El macho llega alcanzar los 2.7 metros de altura y pesar

145 kg. Las patas largas le hace posible alcanzar una velocidad de 60 a 70 km/h la cual puede mantener durante 20 minutos. Por su naturaleza silvestre presenta una excelente capacidad de adaptación a gran diversidad de climas, principalmente los áridos, semiáridos y templados, soportando condiciones climatológicas extremas (Rancho Texcale S.A. de C.V., 2001).

El consumo de carne de avestruz en Latinoamérica, es un gusto que se esta adquiriendo más por la curiosidad que por la necesidad de consumir productos más sanos. La mayoría de la gente que come por primera vez esta carne lo hace para satisfacer su curiosidad o por el reto de probar una comida exótica. Una vez roto el tabú, se dan cuenta que el sabor y la textura de la carne son muy parecidas a la de res con la diferencia de ser muchísimo mas blanda (Rancho Oro Negro, 2002). Tal es el caso de Europa que empezaron a consumir carne de avestruz en los ochenta debido a que su sabor y textura eran similares a cualquier otra carne roja (De la Masa, 1996; Paleari y cols., 1998).

El Cuadro 1 muestra que la composición de carne de avestruz puede compararse con otras especies conocidas como "animales de abasto". En trabajos realizados por Paleari y cols. (1998), encontraron que la carne de avestruz tenía valores de proteína comparables a los de res y pavo, así como valores más bajos de grasa y colesterol. En otro estudio, De la Masa (1996) encontró que el contenido calórico era menor en la carne de avestruz que otras especies debido a la baja proporción de grasa contenida en el tejido muscular de esta ave.

Cuadro 1.- Composición Química de la Carne de Algunas Especies Domésticas.

Especie	Proteínas (%)	Grasa (%)	Hierro*	Colesterol*	Kcal/100
Avestruz	22-27	1.5-2.8	4.9	45-83	97-140
Bovino	20-30	4.5-15	3.0	54-89	122-140
Cerdo	29.3	9.7	1.1	86	211
Pavo	20-25	3-3.8	1.8	36-59	115-135
Pollo	28.9	7.4	1.2	89	190

* mg/100 gr de carne

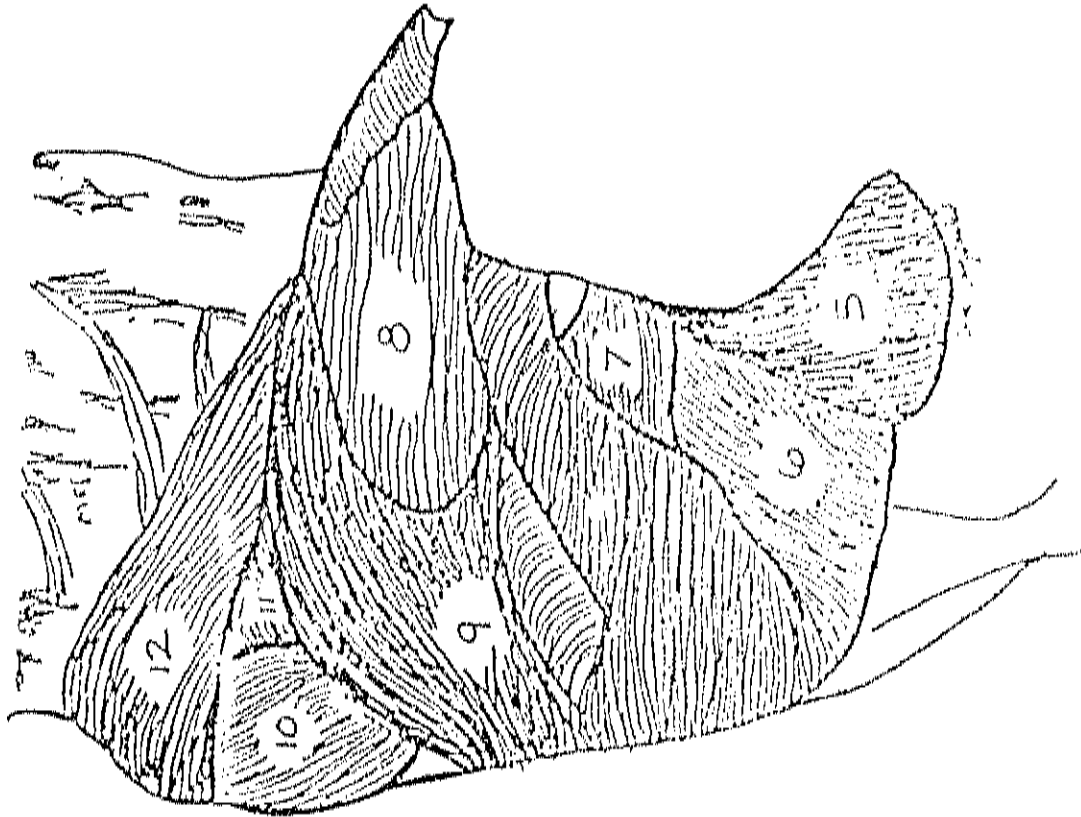
Fuente: De la Masa, 1996; Paleari y cols., 1998; AZ Ostrich Company, Inc, 2001.

Actualmente se pueden encontrar tablas de composición nutrimental de carne de avestruz y otras especies en la mayoría de los sitios en Internet de las diversas asociaciones de cría y producción de avestruces, ya que estas funcionan como un buen gancho para mostrar a las personas las ventajas nutrimentales de consumir este tipo de carne en comparación con otras especies. Sin embargo, se deben ver con cuidado, ya que en algunos las comparaciones no se efectúan al mismo nivel o bajo condiciones similares.

Desde el punto de vista de producción, también es importante conocer el rendimiento de la carne en la canal de avestruz. En este punto se han realizado estudios por parte de Garza (1997) donde reporta un peso promedio de la canal de 54.27 Kg, con una composición de 62.5% de carne magra separable, 9.2% de recortes de grasa, 26.9% de hueso y 1.4% de pérdidas al realizar los cortes sobre el peso de la canal.

Otros estudios reportan promedios de carne magra separable de 35.7% en avestruz, 64% en bovino, 65% en pollo y 71% en pavo. El total de la carne magra separada es representada por los 10 músculos mayores y un tercio de la carne en recortes (Garza, 1997).

Los músculos de la canal (Figura 1) pueden ser utilizados de distintas formas y/o cortes (bistek, filete, cubos, roast, etc.), donde cada uno contribuye con el 6% del peso de la canal (Garza, 1997). Al respecto existen en el mercado



5. *M. obturatorius medialis*
6. *M. flexor cruris lateralis*
7. *M. iliofibularis*
8. *M. femorotibialis medius*
9. *M. iliotibialis lateralis*
10. *M. iliofemoralis externus*
11. *M. ambiens*
12. *M. iliotibialis cranialis*

Figura 1. Diagrama con los Músculos Externos de la Canal de Avestruz.

Fuente: Galaviz, 2000.

diagramas con los diferentes cortes que se pueden obtener de la carne de avestruz. A continuación en la Figura 2 presentamos estos cortes según como los define la asociación internacional de criadores de avestruces.

Estructura y Composición del Músculo

El músculo esquelético forma parte del sistema muscular y está fijado al hueso de forma directa o indirecta. El cuerpo de un animal está constituido por más de 600 músculos y varía en tamaño y función. Las características del músculo dependen de su posición anatómica y actividad fisiológica. Exceptuando a los animales con excesivo contenido de grasa corporal, el músculo esquelético constituye la mayor parte del peso de los animales de abasto (35-65%) (Forrest y *cols.*, 1979; Price y Schweigert, 1987; Hedrick y *cols.*, 1993).

En el Cuadro 2 se muestra los rangos de variación de los constituyentes del músculo. Estos además de variar entre especies y animales, también discrepan dependiendo del grado de madurez, lo cual hace aún más notorias las diferencias en la composición (Hedrick y *cols.*, 1993).

La unidad estructural del tejido muscular es una célula conocida como fibra muscular. Esta corresponde al 75-92% del músculo; el resto lo componen tejido conectivo, vasos sanguíneos, fibras nerviosas y líquido extracelular, este

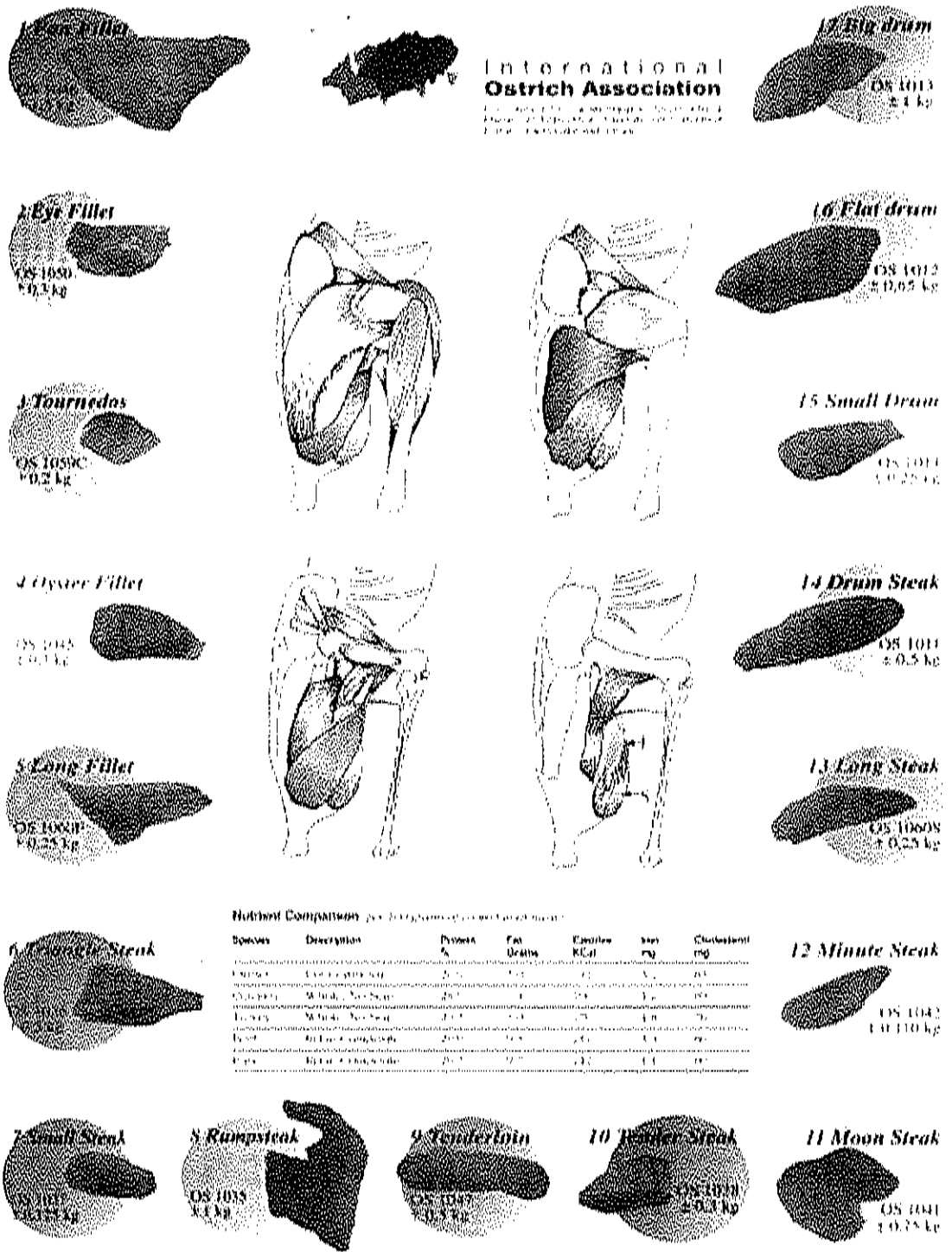


Figura 2. Tipos de Cortes en Carne de Avestruz.

Fuente: International Ostrich Association, 2003.

Cuadro 2.- Composición Proximal Promedio en Músculo de Especies para Consumo Humano.

Constituyente	Tipo de tejido	Rango (%)
Agua	Músculo de animal adulto	70-78
Proteínas	Músculo de animal adulto	15-22
Lípidos	Grasa total en músculo	1-13
	Grasa intracelular	0.5-3.0
Carbohidratos	Músculo de animal adulto	1-2
Minerales	Músculo de animal adulto	1-2

Fuente: Pearson y Young, 1989.

último ocupa el mayor volumen de remanente (Judge y cols., 1989; Hedrick y cols., 1993).

Las fibras musculares son células largas filamentosas sin ramificar que disminuyen su diámetro por ambos extremos. Aunque varía mucho su longitud, casi todas miden entre 1 y 40 mm y presentan un diámetro entre 10 y 100 μm . También son multinucleadas y estriadas; sus núcleos son ovales y están distribuidos por toda la periferia de la célula (Swatland, 1984; Pearson y Young, 1989).

Las fibras se pueden clasificar de acuerdo a sus características funcionales, velocidad de contracción, fuerza máxima, resistencia a la fatiga, capacidad oxidativa y glucolítica, así como a la actividad de ATPasa (Adenosin Trifosfatasa). Comúnmente se identifican tres tipos de fibras: rojas, blancas e intermedias; y por su tipo de metabolismo se conocen como oxidativas, glucolíticas y oxidativas-glucolíticas (Burke y cols., 1973).

También las fibras se pueden identificar por medio de su relación con la actividad ATPasa. Aquí se conocen las fibras tipo I o de contracción lenta oxidativa, tipo IIa ó contracción rápida oxidativa, tipo IIb o de contracción rápida glucolítica y tipo IIc ó de contracción rápida oxidativa-glucolítica (Pearson y Young, 1989; Xiong, 1994).

La fibra muscular tiene gran cantidad de miofibrillas que a su vez, se componen de dos clases de filamentos: gruesos y delgados. A los primeros se les denomina también filamentos de miosina, debido a que la miosina es el

componente proteico estructural que se encuentra en mayor concentración, mientras que los filamentos delgados se les conoce como filamentos de actina ya que es la proteína actina el componente estructural primario. Ambos son los responsables del característico patrón de bandas del músculo estriado esquelético (Pearson y Young, 1989; Ross y cols., 1992).

Básicamente las fibras musculares están constituidas por: sarcolema, sarcoplasma, núcleos, miofibrillas y organelos propios de la célula (Figura 3). Además la miofibrilla esta compuesta por unidades repetitivas longitudinalmente llamadas sarcómeros, los cuales son fundamentales para la contracción-relajación muscular (Bögler, 1997).

Proteínas del Músculo

Las proteínas de músculo pueden clasificarse como sarcoplásmicas (solubles en agua), miofibrilares (solubles en soluciones de alta fuerza iónica) y tejido conectivo (insolubles a bajas temperaturas). En el Cuadro 3 se muestran las diferentes proteínas del músculo y su clasificación. Estas proteínas en conjunto son las responsables de las características del músculo y durante la conversión de músculo a carne son las que atribuyen las propiedades funcionales a la carne (Price y Schweigert, 1987).

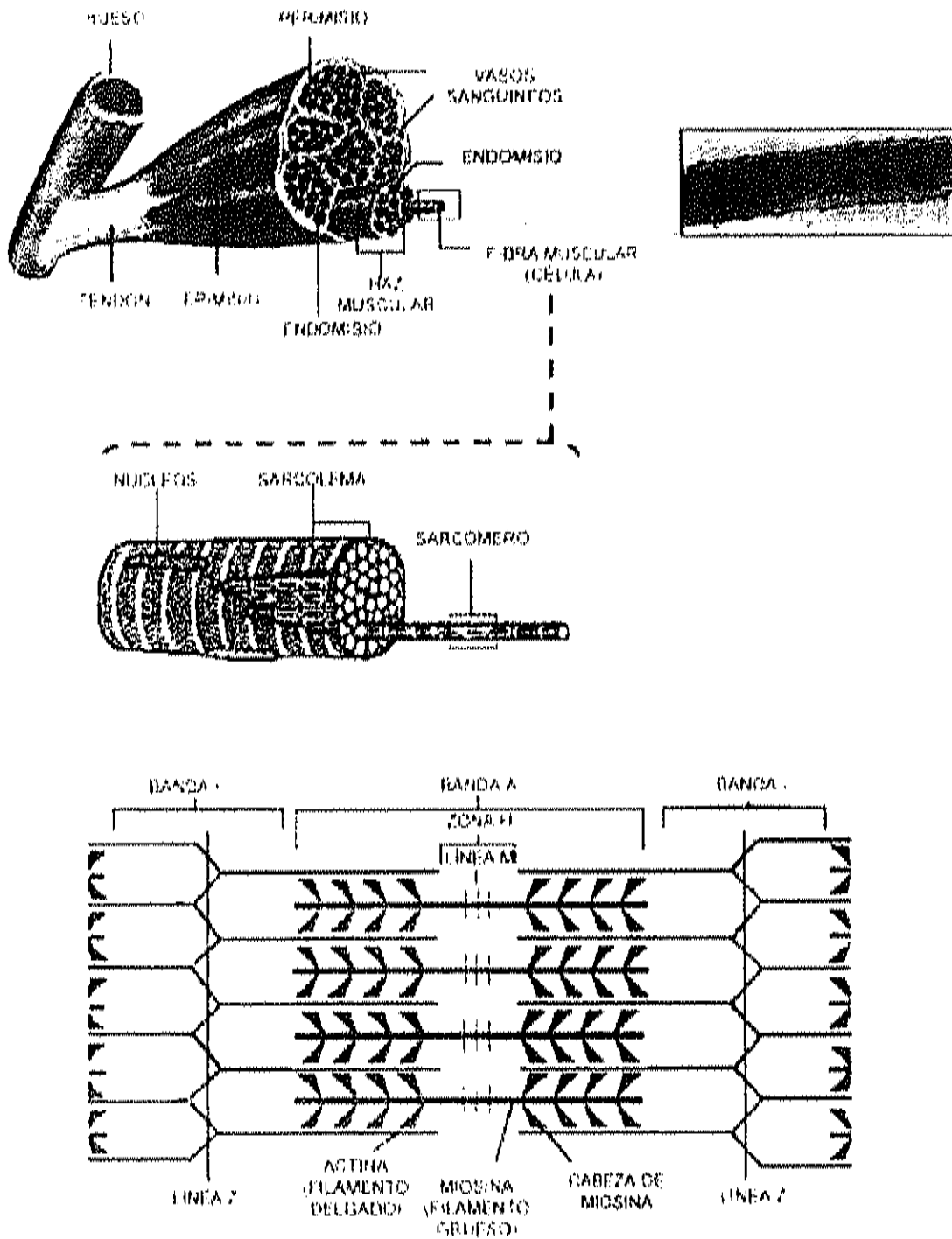


Figura 3. Esquema de la Estructura y Componentes del Músculo Estriado.
Fuente: Bögler, 1997.

Cuadro 3. Peso Molecular y Localización de las Principales Proteínas Musculares.

Proteínas	Proporción (%)	Peso Molecular (kDa)	Localización en el Sarcómero
Proteínas Contráctiles			
Miosina	50	520	Filamento grueso
Actina	20	42	Filamento delgado
Proteínas Reguladoras			
Tropomiosina	3	66	Filamento delgado
Troponina	4.5	69	Filamento delgado
α -actinina	1	206	Filamento delgado(disco Z)
β -actinina	<0.1	60	Final del filamento delgado
γ -actinina	<0.1	35	Filamento delgado
ϵ -actinina	0.3	41	Disco Z
Proteínas Sarcoplásmicas			
Mioglobina	-	17	Sarcoplasma
Hemoglobina	6	65	Sarcoplasma
Proteínas Citoesqueléticas			
Titina (conectina)	5-8	2800	A través del sarcómero
Nebulina	3	600	Banda I
Proteína-C	1.5	140	Filamento grueso
Miomesina (Proteína M)	0.5	170	Línea-M
Desmina	<0.2	53	Disco Z
Filamina	0.1	500	Disco Z
Vimentina	0.1	130	Disco Z
Sinemina	0.1	230	Disco Z
Proteína-H	0.2	55	Disco Z
Proteína-I	0.1	50	Filamento grueso(Banda I)
Proteína-F	0.1	120	Filamento grueso
Creatina Kínasa	0.1	86	Línea-M

Fuente: Ranken, 1984; King y Macfarlane, 1987; Pearson y Young, 1989.

Sarcoplásmicas

Estas proteínas son necesarias en el metabolismo de las fibras musculares cuando el animal aún vive. Entre ellas se incluyen la mioglobina y enzimas asociadas a la glucólisis, al ciclo de Krebs y a la cadena transportadora de electrones. Son solubles en agua o en soluciones de sales diluidas de baja fuerza iónica ≤ 0.15 M aproximadamente (Kumosinski y Farrell, 1994). Las proteínas sarcoplásmicas más importantes son:

1. **Mioglobina.**- Es la responsable del color en la carne fresca y es la que se encarga de almacenar oxígeno en el músculo. La cantidad de mioglobina depende del tipo de fibra presente.
2. **Hemoglobina.**- Se encarga del transporte de oxígeno hacia todas las células del cuerpo. Su función es remover el CO_2 producido en los tejidos y depositar O_2 (Price y Schweigert, 1987; Lawrie, 1998).

Por otra parte, la presencia de éstas puede tener un efecto negativo en las propiedades funcionales de la carne, como puede ser en la gelificación como lo reporta Yang y Froning (1992). Aunque para el estudio de las propiedades de las proteínas miofibrilares generalmente se hace una extracción previa de las sarcoplasmáticas en el tejido muscular, ésta no está directamente en equilibrio con la solubilidad de las proteínas en cuestión. Hay dos factores que pueden impedir la extracción de las proteínas solubles: una es la unión de las proteínas sarcoplasmáticas a estructuras subcelulares del músculo, y la segunda es el secuestro dentro de compartimentos subcelulares de las

proteínas solubles dentro de áreas definidas de la célula en la cual pueden estar atrapadas por membranas, por ejemplo, proteínas de la matriz mitocondrial (Hultin y cols., 1995).

Sin embargo, la cantidad de estas proteínas en el tejido muscular es de aproximadamente de 4% y su solubilidad depende del pH del medio. La carne *post rigor* presenta un valor de pH final más bajo que la carne *pre rigor*, la solubilidad de las proteínas sarcoplásmicas en el primer caso, es menor que en la carne *pre rigor* (Kumosinski y Farrell, 1994).

Miofibrilares

Las proteínas miofibrilares actina y miosina son las responsables de la contracción muscular en los animales, estas constituyen el 70% del total de la proteína miofibrilar. El resto está constituido por proteínas reguladoras, que controlan el proceso de contracción-relajación, y citoesqueléticas, que mantienen el orden estructural proteico del sarcómero (Forrest y cols., 1979). Las proteínas reguladoras son la tropomiosina y el complejo troponina, mientras que las citoesqueléticas son la nebulina, titina, desmina, proteína M, entre otras (Cuadro 3).

La tropomiosina y troponina se localizan en los filamentos delgados; la proteína C se encuentra en los filamentos gruesos; la alfa actinina es un componente de la línea Z y las proteínas M, forman parte de la línea M (Pearson y Young, 1989).

La miosina es la principal proteína miofibrilar, constituye el 40-45% de la proteína miofibrilar, además se caracteriza por su gran proporción de aminoácidos ácidos y básicos, y su punto isoelectrico (pI) es de aproximadamente 5.2. Está compuesta de dos cadenas largas llamadas pesadas (200 kDa) y 4 subunidades llamadas cadenas ligeras que pesan de 16 a 30 kDa con una estructura molecular asimétrica. La estructura de la molécula de miosina consiste en un hexámero en forma de un bastón alargado (plegadas en forma de alfa hélice) con un abultamiento en uno de los extremos llamada cabeza y a la porción alargada se le conoce como cola. (King y Macfarlane, 1987; Sirovy, 1987; Pearson y Young, 1989; Stryer, 1990).

En el subfragmento 1 o S-1 se encuentran los sitios de unión de la actina y ATP, y de dos cadenas ligeras. En esta estructura sobresalen tres regiones principales: una de 25 kDa, donde se une el ATP, un segmento central de 50 kDa y otro del carboxilo terminal de 20 kDa (Margossian y cols., 1981).

La actina es la proteína miofibrilar principal de los filamentos delgados. Esta formada por una cadena simple, la cual une a un nucleótido y un catión divalente por mol de monómero, y representa el 25% de las proteínas miofibrilares (Pearson y Young, 1989).

Un cculo realizado por Faust y cols. (1974); citado por Forrest y cols.(1979), indica que el peso de esta proteína es de 42 kDa incluyendo al calcio y al ATP. Su forma monomérica es la actina-G (globular) y su naturaleza fibrilar se debe a la polimerización de estas unidades, que dan lugar a la actina-

F (fibrilar) que se relaciona con la miosina para llevar a cabo la contracción, lenta o rápida, del músculo. El punto isoeléctrico de la actina es de 4.7.

Durante la contracción muscular cada cabeza de miosina se une a la molécula de actina-G del filamento delgado. La formación de puentes, mediante esta interacción origina un complejo químico conocido como *actomiosina*, el cual da un estado de rigidez muscular (*rigor mortis*) a la muerte del animal (Pearson y Young, 1989).

Propiedades Funcionales y de Calidad de la Carne

En la industria de los alimentos es importante mantener y/o mejorar las características de los productos, tanto procesados como frescos. En el caso de la industria cárnica es fundamental el manejo de las propiedades funcionales y de calidad de la carne. Dichas propiedades están dadas por las proteínas que contribuyen a la calidad sensorial y propiedades fisicoquímicas finales del alimento, esto dependiendo que características se pretenden resaltar (Kinsella, 1976; Hettiarachchy y Ziegler, 1994).

Se define funcionalidad como las propiedades fisicoquímicas que modifican las características del alimento (Badui, 1990). Algunos ejemplos de propiedades funcionales son: capacidad de retención de agua (CRA), espumado y gelificación (Phillips y cols., 1994). Factores como la fuerza iónica, pH, temperatura, concentración de sales, afecta la funcionalidad de las

proteínas de la carne, cada una de ellas repercute de manera significativa y puede existir correlación entre ellas (Bourgeois y Le Roux, 1986).

La carne de avestruz presenta propiedades funcionales que son equiparables con las de otras especies. Alejandro (2000) encontró que las proteínas de la carne de avestruz son similares a las de otras especies.

Dentro de la tecnología de la carne, el término calidad engloba varios atributos químicos y físicos que pueden ser descritos en términos de: color, olor, textura, terneza y jugosidad. Todos estos, excepto el color, son atributos de la palatabilidad de la carne y sus productos. Así mismo las características de calidad de la carne se pueden ver afectadas por varios factores intrínsecos y extrínsecos como la estructura del músculo y su composición, estrés antemortem, buenas practicas de manejo y condiciones de almacenamiento (Xiong y cols., 1999).

Capacidad Emulsificante

Una emulsión es la mezcla de dos líquidos como el agua y el aceite donde uno constituye la fase discontinua que se dispersa en forma microglobular (aceite) en un segundo de fase continua (agua) (Bourgeois y Le Roux, 1986).

Una emulsión cárnica consiste en la dispersión de una fase sólida (grasa) o discontinua (grasa) en una líquida o continua, en esta última hay una solución de sales y proteínas. A la fase continua se le conoce como matriz y cuando la

grasa se dispersa en partículas finas se forma un sistema de fases múltiples (Judge y cols., 1989).

Las proteínas contienen grupos eléctricamente neutros, que por su naturaleza lipofílica se orientan hacia las moléculas de grasa, y grupos cargados negativa o positivamente denominados hidrofílicos que poseen afinidad por las moléculas de agua. Cuando se forma una emulsión la grasa se encuentra dispersa en pequeñas gotas rodeadas de una película de proteínas, cuyos grupos negativos o positivos se orientan a la fase continua dando estabilidad a la emulsión (Badui, 1990; Hedrick y cols., 1993).

Para que las emulsiones puedan mantenerse estables es importante que las proteínas del sistema se encuentren solubles, esto puede ser por medio de soluciones salinas. Las principales proteínas cárnicas emulsionantes son la miosina, actina y actomiosina, siendo las más estables las de miosina (Barbut, 1995).

Existe el concepto de que las proteínas miofibrilares solubles en sal son absorbidas preferentemente en la interfase grasa-agua, porque la miosina en su estado natural, posee una mayor capacidad hidrofóbica superficial lo cual es un factor determinante para que suceda la absorción (Damodaran, 1994).

Las proteínas miofibrilares constituyen la membrana proteica localizada en la interfase agua/aceite. De acuerdo a Jones y Mandíngo (1982) esta membrana tiene un efecto determinante en la estabilidad de las emulsiones cárnicas durante y después de un tratamiento térmico. Esta estabilidad depende

del grosor de la membrana proteica interfacial, de la integridad y densidad de la matriz de la emulsión y de su habilidad para mantenerla durante el procesamiento térmico, dependiendo todo esto de las interacciones proteína-proteína, lipido-proteína y proteína-agua, las cuales parecen estar directamente vinculadas a la propiedad de la emulsión cárnica para ligar agua y grasa.

Naturalmente esta capacidad así como la estabilidad de la emulsión es máxima cuando las condiciones de pH, concentración de proteínas, naturaleza del aceite, etc. son óptimas y se mantienen. Alejandro (2000), encontró que la capacidad emulsificante en carne de avestruz no presenta diferencias ($p > 0.01$) al compararla con otras especies como res, pavo, cerdo, pollo y caballo.

La función de la proteína en la formación de una emulsión esta relacionada con su capacidad de absorber y estabilizar la interfase aceite-agua; esto se ve influenciado por la disponibilidad de la proteína y por la cantidad de espacio en la interfase. La teoría del esparcimiento de la luz en partículas dispersas indica que hay una simple relación entre la turbidez y el área interfacial de una emulsión siempre y cuando se reúnan ciertas condiciones. Por lo tanto podemos esperar que a mayor turbidez en una emulsión, la proteína tiene mayor capacidad para emulsificar (Pearce y Kinsella, 1978).

Una de las técnicas para evaluar las propiedades emulsificantes de las proteínas cárnicas es la *turbidez de la emulsión* que fue desarrollada por Pearce y Kinsella (1978) para posteriormente ser modificada y mejorada por Li-

Chan y cols. (1985), y Arteaga y cols. (1993), utilizando a ésta como un factor para determinar la actividad emulsificante.

Gelificación

La gelificación de las proteínas es un proceso dinámico que involucra el desdoblamiento de la molécula de proteína para exponer los sitios de enlaces específicos y la agregación de éstas para formar una red tridimensional y/o matriz, con esto se ocasiona que queden retenidos agua, grasa, sales y otras sustancias de bajo peso molecular (Sharp y Offer, 1992). Durante este proceso se ve incrementada exponencialmente la viscosidad del medio (Badui, 1990; Phillips y cols., 1994). El tipo y calidad del gel formado depende de las proteínas y la interacción que se da entre ellas; además también influyen otros elementos como las sales, concentración de proteína, velocidad de calentamiento, temperatura y pH que pueden modificar la estructura y conformación del gel por un aumento o disminución en la fuerza iónica del mismo (Camou y Sebranek, 1991; Hettiarachchy y Ziegler, 1994).

La miosina y el complejo actomiosina forman geles que contribuyen al enlazamiento de los trozos de carne en productos cárnicos (Sharp y Offer, 1992). La gelificación de la miosina involucra dos reacciones: la agregación de las cabezas globulares, que está estrechamente asociada con la oxidación de grupos sulfidrilos; y la formación de la red que resulta del desdoblamiento del segmento hélice del tallo de la miosina (Ziegler y Acton, 1984).

Estudios realizados por diversos autores han demostrado que la miosina forma excelentes geles y que la actina tiene menor calidad de gelificación, pero sin embargo tiene un efecto sinérgico sobre la gelificación de la miosina, dependiendo de la proporción miosina/actina (Asghar y cols., 1984; Morita y cols., 1987; Yamamoto y cols. 1988).

Según Acton y cols.(1983), debido a como influye en la textura, jugosidad y estabilización de emulsiones, la gelificación de las proteínas miofibrilares se considera como una de las propiedades funcionales más importantes al elaborar un producto. Para este proceso de formación del gel, se sugieren velocidades lentas de incremento en la temperatura para formar un gel fuerte (Camou y cols., 1989; Badui, 1990). Alejandro (2000) encontró que las proteínas de la carne de avestruz y caballo formaban geles más fuertes, (0.911 y 0.939 kgf, respectivamente), que las otras especies animales tales como pollo, pavo, cerdo y res cuyos valores oscilaron entre 0.425 y 0.580 kgf. Esto hace pensar que la carne de avestruz puede ser utilizada en la industria para dar una buena consistencia a productos cárnicos elaborados a partir de éste animal.

Capacidad de Retención de Agua

La capacidad de retención de agua (CRA) es la propiedad que tienen las proteínas para ligar "su agua", después de pasar por varias etapas de procesamiento. Esta propiedad depende de los aminoácidos hidrofílicos que

son los grupos reactivos (grupos con cargas eléctricas) que forman puentes de hidrógeno con el agua (Broakye y Mittal, 1993). La CRA se emplea para hacer referencia a la cantidad de agua propia o añadida que una macromolécula retiene sin liberación del líquido (Badui, 1990). Las proteínas pueden absorber agua por capilaridad: de 100 a 600 g de agua por cada 100 g de proteínas, la cual está disponible para reacciones químicas (Bourgeois y Le Roux, 1986).

Las proteínas miofibrilares son las responsables de la CRA, principalmente la miosina. Se ha visto que si se remueve selectivamente la miosina, estas pierden su capacidad para retener agua (Ishioroshi y cols., 1979). Se considera que el 70% del contenido de agua está ubicado en los espacios existentes entre los filamentos gruesos y delgados de la miofibrilla, el 20% en el sarcoplasma y el 10% restante en el tejido conectivo y espacios extracelulares (Pearson y Young, 1989).

Para el caso de la carne se dice que contiene aproximadamente un 75% de agua, y la retención del líquido inherente y la que se agrega durante el procesamiento ha sido motivo de investigación en la industria de la carne (Hettiarachchy y Ziegler, 1994).

La CRA tiene un papel esencial en la palatabilidad de los productos cárnicos sobre todo en lo que se refiere a ternura, jugosidad, textura y color (Broakye y Mittal, 1993). Sales (1996), encontró que el alto pH en la carne de avestruz (aproximadamente 5.90) favorece la CRA en productos cárnicos, sin embargo, también explica que podría causar problemas en cuanto a sabor y

vida de anaquel, por lo que si esto sucediera entonces se tendría una alteración de las características de la carne, afectando por consecuencia la calidad del producto. Además la pérdida de agua tiene una importante repercusión económica en el costo final del alimento (Hettiarachchy y Ziegler, 1994).

Color

El color es una propiedad de la materia directamente relacionada con el espectro de luz que se puede medir físicamente en términos de energía radiante y por su longitud de onda. El color es muy importante, ya que es el primer contacto del consumidor con el alimento. Por lo tanto un cambio en el color original de los productos propicia un rechazo por parte del consumidor. Por lo anterior, la percepción del color es un fenómeno fisiológico que depende del observador (Badui, 1990; Pearson y Dutson, 1994; Lawrie, 1998).

El color de la carne es uno de los atributos primarios que proyectan frescura y jugosidad a la vista del consumidor. La proteína responsable de la coloración de la carne es la mioglobina, proteína sarcoplásmica constituida de una parte proteica y un grupo hemo. También existen en pequeñas cantidades algunos sistemas enzimáticos cuyas coenzimas o grupos prostéticos tienen propiedades cromóforas. Entre los principales se encuentran las peroxidasa y las enzimas responsables del mecanismo de transporte de electrones, como los

citocromos y las flavinas; esta última contiene riboflavina de color amarillo (Badui, 1990).

Se sabe que la mioglobina es muy reactiva, sobre todo con el oxígeno, con el que interactúa para dar diversas tonalidades de rojo en la carne que va desde rojo brillante (oximioglobina) hasta un marrón (metamioglobina). En el caso de la carne de avestruz es muy notorio el color rojo oscuro que presenta lo cual se debe a una mayor cantidad de mioglobina presente en el músculo (Paleari y cols., 1998).

El color se ve directamente relacionado con la pérdida de agua ya que el líquido que se pierde por almacenamiento o tratamiento de conservación contiene mioglobina que es el principal elemento de pigmentación en la carne (Price y Schweigert, 1987). Morris y cols. (1995), hicieron una evaluación subjetiva en diferentes músculos de avestruz, encontrando que estos variaban de un rojo oscuro a un rojo cereza "agradable".

En contraste la carne de res tuvo un registro de un rojo cereza suave a un rojo cereza moderado; lo cual indica que la carne de avestruz posee un rojo mas oscuro. Esto se confirma en los estudios realizados por Sales (1996), que indican que el pH de la carne de avestruz (5.90) favorece al color más oscuro de ésta comparándola con otras especies.

Textura

Existen propiedades físicas de la carne como firmeza y textura que en la actualidad son fáciles de medir de manera objetiva o subjetiva, generalmente son evaluadas por equipos por medio de esfuerzo al corte (Warner-Blatzler) y por el consumidor por el sentido del gusto (Forrest y *cols.*, 1979).

La textura puede ser definida como una manifestación de las propiedades reológicas de un alimento o característica de calidad sensorial que se percibe a través del aparato bucal cuando al masticar hacemos una presión para moler el alimento. Además, se considera un atributo muy importante que se ve afectada por el proceso de producción, manejo del alimento, pudiendo influir de manera importante en los hábitos alimenticios y por tanto en la elección final del consumidor por el alimento (Pearson y Dutson, 1994).

Los sistemas de caracterización de la textura de alimentos se reducen generalmente a dos grandes grupos, basados en los métodos de análisis sensorial o instrumental. Como se podría esperar, los métodos sensoriales de análisis están sujetos a una alta variabilidad, aunque existen sistemas para reducir esta variedad mediante la utilización de evaluadores especializados. Generalmente es preferible utilizar métodos instrumentales para evaluar la textura de alimentos en lugar de análisis sensorial puesto que pueden realizarse bajo unas condiciones mucho mas definidas y controladas (Análisis de Textura, 2002).

Actualmente el consumidor de carne considera la textura como una de las propiedades de calidad más importantes, incluso más que el sabor y el color. Algunos factores que influyen sobre esta propiedad física son el estado de rigidez, propiedad relacionada con la capacidad de retención de agua, grasa intramuscular, tejido conectivo y el tamaño de los haces musculares (Forrest y cols., 1979). Además de esto, la cantidad de tejido perimisial que rodea a la fibra también es importante, ya que a mayor grosor de esta capa la dureza aumenta (Lawrie, 1998).

Los factores que afectan la textura de la carne están relacionados con las características genéticas, condición sexual, edad, alimentación, estrés antes del sacrificio, temperaturas y tiempos de almacenamiento, descenso del pH, acortamiento por frío (Price y Schweigert, 1987; Harris y Shorthose, 1988). Todas las anteriores (excepto la especie) pueden ser controladas de tal forma que el efecto sea mínimo, sobre todo considerando que lo que se desea es obtener carne de buena calidad (Price y Schweigert, 1987; Lawrie, 1998).

Jones y cols. (1995) encontraron que la textura en carne de avestruz se comportaba de manera similar al pavo y res, obteniendo valores de 2.7, 2.1 y 2.1 Kg/cm² respectivamente. Por otro lado, Paleari y cols. (1998) encontraron que para carne cocinada la textura en avestruz, pavo y res fue de 0.027, 0.021, y 0.071 Kg/mm², respectivamente.

Potencial de Hidrógeno

Otra característica que es de vital importancia en la estabilidad de la carne es el potencial de hidrógeno (pH). La calidad de ésta es influenciada grandemente por la velocidad con que declina el pH y el valor al que se estabiliza después del sacrificio en el músculo, lo cual está determinado por factores intrínsecos como especie, edad y función muscular, y extrínsecos que se relacionan con el manejo antes del sacrificio: lesiones y estrés en los animales, (Lawrie, 1998).

El factor causal que repercute en un pH final elevado en la canal del avestruz es la reducción de las reservas de glucógeno muscular debido a la fatiga del ave, estrés o malos manejos antes del sacrificio. Esto trae como consecuencia una disminución de la producción de ácido láctico (Preston y Willis, 1983; Pearson y Gillett, 1999). Es importante hacer notar que el pH tiene influencia sobre la pérdida de agua además de que éste último ejerce un efecto significativo sobre el color y la textura tanto en carne de avestruz como en pavo y res (Paleari y cols. 1998).

Lo anterior se puede explicar de la siguiente forma: Un pH alto conduce a una actividad mayor de supervivencia de enzimas citocromáticas y como las proteínas están por encima de su punto isoeléctrico, el agua se halla confinada estrechamente, causando el empaquetamiento de las fibras musculares. Estos dos factores impiden la introducción de oxígeno en la carne, como

consecuencia el color de la mioglobina rojo púrpura predomina al rojo brillante de la oximioglobina (Preston y Willis, 1983).

Paleari y cols. (1998) observaron que el pH en la carne de avestruz se aproxima a un valor de 5.8 y que debido a esto su vida de anaquel tiende a disminuir. Sales y Mellet (1996) encontraron que el pH de la carne de avestruz es de 6, lo cual lo hace viable para la elaboración de productos. Estas características hacen a la carne de avestruz una buena alternativa para la generación de tecnologías de alimentos de origen animal.

Métodos de Conservación por Frío

Los procesos utilizados para la conservación de la carne tienen como finalidad evitar las alteraciones del alimento provocadas por el crecimiento de microorganismos y/o reacciones bioquímicas durante su almacenamiento (Lawrie, 1998).

Comúnmente se da el nombre de carnes conservadas por frío a aquellas que han sido almacenadas por un período de tiempo bajo las siguientes condiciones:

- Las carnes mantenidas a temperaturas cercanas a 0°C con el fin de conservar su consistencia de carne fresca, sin haber sufrido congelación.

- Las carnes congeladas son las conservadas a temperaturas inferiores a 0°C y que tengan consistencia de bloques duros (Collin, 1977).

Refrigeración

En general se entiende por refrigeración cualquier reducción de la temperatura de un producto y del medio en que se encuentra por debajo de la temperatura ambiente dominante. Sin embargo, en la práctica, se considera tal enfriamiento dentro del intervalo de temperaturas de 1 a 5°C (Ranken, 1993).

Por lo general la refrigeración consiste en grandes cámaras enfriadas para madurar o para enfriar canales de res o de aves, así como unidades más pequeñas para el empaquetado de productos. Estas instalaciones se enfrían con aire forzado o se puede usar nitrógeno líquido gaseoso o pulverizaciones de dióxido de carbono (Brennan y cols., 1980; Ranken, 1993).

La refrigeración es utilizada para bajar la temperatura de la carne momentos después de ser sacrificado el animal con un enfriamiento rápido de 18 a 24 hr en cámaras hasta alcanzar de 0 a 2°C con una humedad relativa del 80 a 90% para evitar el desecado. Este método se utiliza por cortos periodos de tiempo debido a sus costos de almacenamiento y las alteraciones en la carne (Price y Schweigter, 1987).

Es preciso tener cuidado de no enfriar demasiado de prisa la carne, ya que puede ocasionar endurecimiento del músculo más allá de los límites aceptables, a esto se le conoce como acortamiento por frío. Este fenómeno está relacionado con la pérdida de trifosfato adenosina (ATP) y otros cambios *post mortem* que ocurren en la carne. Esto se puede evitar teniendo la precaución de que la temperatura no sea inferior a 10°C antes de que el pH descienda por debajo de 5.5 (Ranken, 1993).

La refrigeración aplicada en alimentos perecederos como la carne solo la conserva durante cortos períodos de tiempo, ya que solo disminuye la velocidad de deterioro (microbiológico y bioquímico) mas no la detiene por completo. Estos daños se pueden observar por el cambio de color, oxidación de las grasas, pérdida de agua, pérdida de firmeza, sabor y olores desagradables (Potter, 1997).

Congelación

La congelación es un procedimiento de conservación que hace intervenir sucesivamente tres fases distintas: la congelación propiamente dicha, el almacenamiento del producto congelado y la descongelación. Cada una de estas fases ha sido examinada separadamente porque plantea problemas específicos tanto en lo referente a los procedimientos utilizados como en lo que concierne a la modificación de la calidad de los productos (Girard, 1993).

La congelación debe su poder conservador a la eliminación de agua líquida por transformación en hielo, obstaculizando toda actividad microbiológica y disminuyendo considerablemente la actividad enzimática. (Mafart, 1994).

Cuando la temperatura desciende por debajo del punto de congelación del producto, una proporción elevada de agua cambia de estado formando cristales de hielo. La inmovilización del agua en forma de hielo y el aumento de la concentración de solutos en el agua no congelada reduce la actividad de agua en el alimento. La conservación por congelación se da por una combinación del descenso de temperatura y una actividad de agua más baja. Cuando la congelación y el almacenamiento se llevan a cabo adecuadamente, las características organolépticas y el valor nutritivo del alimento apenas y resultan afectados, aumentando de esta manera la vida de anaquel y disminuyendo el deterioro del alimento (Fellows, 1994).

Proceso de Congelación

Durante el proceso de congelación el agua libre pasa del estado líquido al sólido debido al descenso en la temperatura del tejido animal (a partir de -1°C), promoviendo la formación de cristales (Forrest y cols, 1979; Girard, 1993; Fellows, 1994). Dicho proceso requiere de tiempo y de energía. Al final el agua libre se convierte en hielo y se producen las siguientes transformaciones:

1. Transformación vítreosa.- Se presenta con temperaturas muy bajas y altas velocidades de congelación que casi no se utilizan en la industria.

2. Cristalización.- Está determinada por dos factores: a) formación de núcleos de cristalización, que ocurre entre -1 y -7 °C y puede ser de forma homo o heterogénea, y b) velocidad de crecimiento de los cristales, que se presenta una vez formados los núcleos de cristalización. La velocidad de enfriamiento influye sobre la cantidad y forma de los cristales generados. Se distinguen tres tipos principales de cristales: Cristales regulares hexagonales, dendritas irregulares y cristales esféricos.

3. Recristalización.- Formación de grandes cristales de hielo debido a las oscilaciones de la temperatura que influyen negativamente sobre la calidad del producto congelado. Esto da como consecuencia una continua difusión de vapor de agua.

El proceso de congelación atraviesa por varias etapas antes de llegar a la temperatura final de proceso (Figura 4), esto depende en gran medida de la composición del alimento a congelar (Girard, 1993; Fellows, 1994). Así tenemos los siguientes etapas:

1. **(AB)**: Representa el enfriamiento de la temperatura inicial T_i a la temperatura de iniciación de la congelación T_c , es decir, la temperatura de equilibrio entre el medio y el primer cristal de hielo.

2. **(BC)**: El medio es enfriado a una temperatura inferior a T_c . La amplitud de este sub-enfriamiento es mayor cuanto más rápido se extrae el calor.

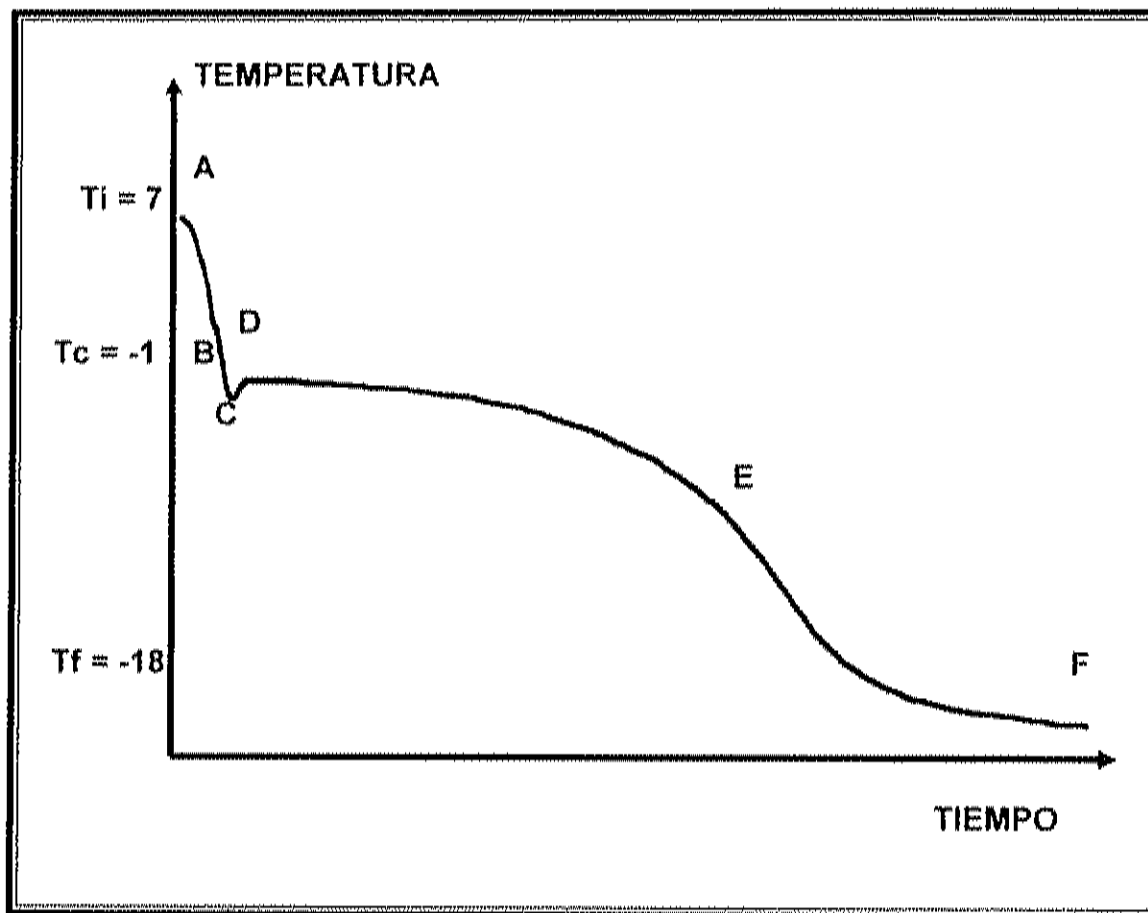


Figura 4. Evolución Típica de la Temperatura en un Punto de la Muestra (Carne) Sometida a Congelación.
Fuente: Girard, 1993.

3. (CD): La temperatura sube rápidamente a un valor próximo a T_c .

4. (DEF): La temperatura disminuye suavemente en un primer tiempo ya que la extracción de calor es utilizada sobretudo para la cristalización del agua. La mayor parte del hielo se ha formado en esta etapa (80%, aproximadamente). La temperatura disminuye a continuación más rápido para alcanzar una temperatura final T_f .

Formación de cristales. Bevilacqua y cols. (1979), encontraron que la duración local de cristalización, definida como el tiempo necesario para bajar la temperatura de -1°C a -7°C , influye fuertemente en los fenómenos de nucleación y crecimiento de cristales.

La aparición de núcleos cristalinos necesita un subenfriamiento mayor en el caso de un cuerpo puro que en los tejidos animales. En estos últimos la estructura modelo para la formación del núcleo preexiste bien sea bajo la forma de impureza que pertenece al mismo sistema cristalino que el hielo, bien sea bajo la forma de agua absorbida sobre el sustrato. El número de núcleos formados por unidad de volumen y de tiempo aumenta con la amplitud del subenfriamiento (Girard, 1993). La concentración del líquido extracelular es menor que la del intracelular. Por este hecho, al igual que la temperatura, el subenfriamiento es más marcado en el exterior de las células y los núcleos cristalinos se forman prioritariamente en este medio (Anon y Calvelo, 1980).

No obstante si la intensidad del enfriamiento es elevada, puede ocurrir una nucleación intracelular, ya que el desarrollo de los cristales extracelulares no es lo suficientemente rápido para impedir que la temperatura baje en el interior de las células (Girard, 1993).

El crecimiento de los cristales de hielo se hace a partir de los núcleos cristalinos. La temperatura de estos últimos tiende a la temperatura de hielo-solución ya que están incluidos en una solución sub-refrigerada. La parte prominente de los cristales se encuentra en la zona de mayor sub-refrigeración y por ello de crecimiento más rápido; esto conduce a una cristalización en forma de dendritas o de agujas. La rapidez de crecimiento y el tamaño final de los cristales depende de la velocidad con la que se remueve el calor (Brennan y cols., 1980; Girard, 1993).

Velocidad de congelación. La mayoría de los daños durante la congelación de los productos están dados con relación a la velocidad de congelación, en donde la velocidad de congelación se ve influenciada por la cantidad de agua, las sustancias que contiene como sales, grasa, etc., la temperatura de entrada y salida al medio refrigerante, el tipo de superficie y la capacidad de conductividad térmica (Buchmüller, 1989). Thumel y Gamm (1995) sostienen que una mayor velocidad de congelación da lugar a una mejor calidad del producto respecto al valor nutritivo, sensorial e higiénico.

En la Figura 5 se presenta un producto en forma geométrica simple en fase de congelación. Aquí pueden identificarse esquemáticamente tres zonas. Las zonas 1 y 3 sufren una caída rápida de la temperatura sin cambio de estado. En la zona 1 la temperatura es en todas partes superior a -1°C y la toda del agua congelable esta en forma líquida. Al mismo tiempo en la zona 3 la cristalización del agua esta prácticamente terminada. Por el contrario, la zona 2 es el lugar de la transformación del agua en hielo. Las interfases I_1 y I_2 separan respectivamente las zonas 1 y 2 y las zonas 2 y 3 progresan hacia el centro térmico del producto (Girard, 1993).

Métodos de congelación. Existen en la industria dos velocidades de congelación, mismos que se esquematizan en la figura 6 y que a continuación se describe:

Congelación Lenta.- La temperatura del producto que será congelado permanece próxima a la del punto de congelación inicial (zona crítica) durante un tiempo considerable. Esto ocasiona la formación de una frontera continua de congelación que progresa lentamente desde el exterior hasta el interior del producto. El agua extracelular se congela más rápidamente que la intracelular porque tiene menos concentración de solutos. Se favorece la formación de cristales de hielo y aumenta la concentración de solutos en la solución no congelada. El daño mecánico es más fácil que ocurra en la congelación lenta

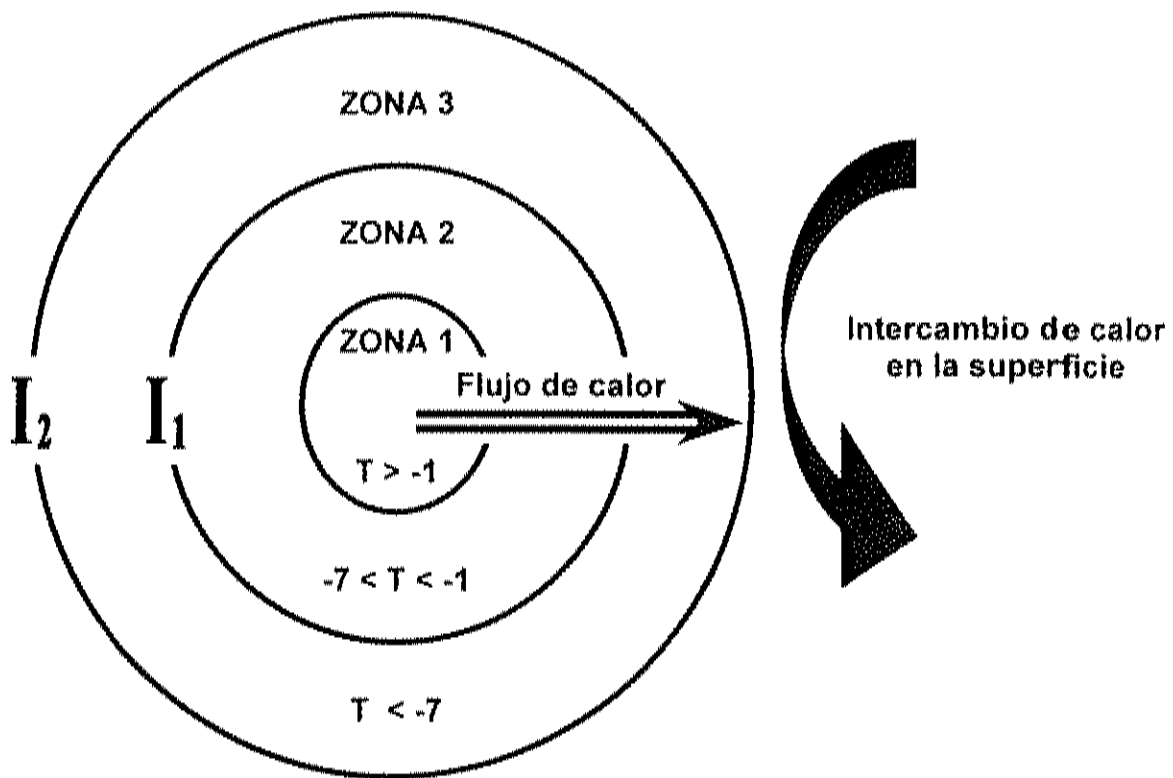


Figura 5. Forma Geométrica de las Zonas de Flujo de Calor en un Producto Alimenticio.
Fuente: Girard, 1993.

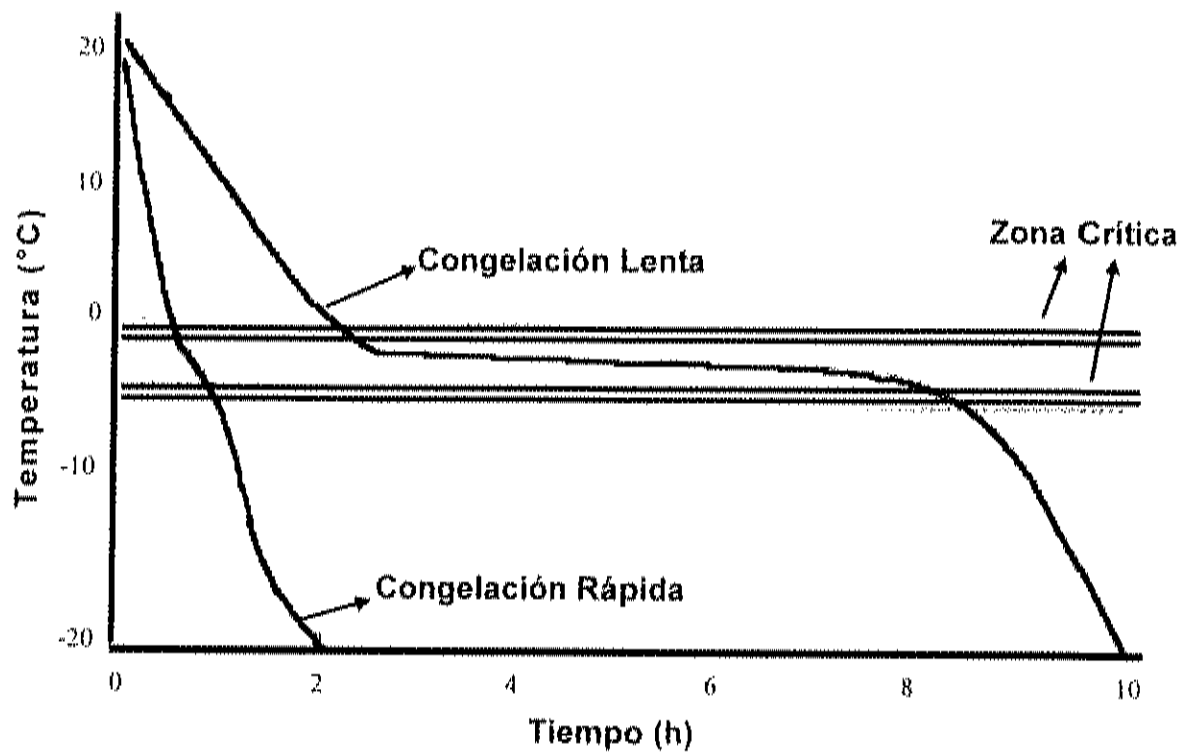


Figura 6. Evolución de la Temperatura en el Alimento Durante la Congelación.
Fuente: Fellows, 1994.

debido a la expansión asociada a la formación de grandes masas de hielo, así como al encogimiento de las fibras musculares que han perdido agua.

El músculo en estas condiciones presenta un aspecto distorsionado que contrasta completamente el aspecto estriado normal (Collin, 1977; Tressler y cols., 1978; Gruda y Postolski, 1990; Girard, 1993; Mafart, 1994).

Congelación Rápida.- Las velocidades de congelación más rápidas se obtienen cuando se emplean gases condensados, como el nitrógeno líquido, el dióxido de carbono sólido o el óxido nitroso líquido. La temperatura del producto cárnico que va a ser congelado cae rápidamente por debajo del punto de congelación inicial (zona crítica), formándose uniformemente por todo el tejido cárnico numerosos cristales de hielo que tienen un aspecto filamentosos (agujas) y que se forman tanto intra como extracelularmente mas o menos a la misma velocidad. Debido a la rápida caída de la temperatura, los cristales que se forman tienen pocas posibilidades de aumentar de tamaño. Como resultado se tiene que la congelación rápida en la carne causa menos efectos perjudiciales que la lenta (Collin, 1977; Tressler y cols., 1978; Gruda y Postolski, 1990; Girard, 1993; Mafart, 1994).

Cambios químicos y físicos. Los efectos físicos y químicos indeseables que ocurren en la carne durante su congelación están asociados con uno o más de los siguientes factores: formación de grandes cristales de hielo en el exterior de la célula, que resultan en daño mecánico en la estructura celular por cambios

de volumen y daños químicos causados por la concentración de solutos, tales como sales y azúcares (Buchmüller, 1989).

El hielo que se forma en la periferia del producto se sublima, acarreado una deshidratación superficial que afecta al aspecto del producto y favorece las reacciones de oxidación. El agua no es totalmente reabsorbida por el producto y conforme se repiten variaciones de temperatura, la masa de escarcha acumulada puede representar pérdidas (Lawrie, 1998).

En el caso de la pérdida de jugosidad, ésta se puede dar como respuesta a la pérdida de la CRA que se ve afectada por la desnaturalización de proteínas durante el almacenamiento (Desrosier y Tressler, 1977). Esta desnaturalización y pérdida de agua afectan negativamente la funcionalidad, disminuyendo la capacidad de formar geles y capacidad emulsificante (Erickson y *co/s.*, 1997).

Trabajos realizados en carne de res y cerdo mostraron que la congelación y el almacenamiento por largos períodos de tiempo (un año) pueden llegar a afectar la textura y la ternura de la carne. Esto se debe posiblemente a que el método de congelación aplicado no fue el adecuado para esos casos (Gordon y Murray, 1991).

Otro efecto es la quemadura del frío que se manifiesta por la aparición de manchas pardas en las carnes rojas por una deshidratación superficial. También las grasas sufren un cambio de coloración (presentan un color gris), por la acción de la lipólisis; además la oxidación de los ácidos grasos libres, le confieren un color amarillo (Girard, 1993; Lawrie, 1998).

Almacenamiento. Las condiciones bajo las que se almacena la carne congelada pueden ser incluso más importantes en el mantenimiento de su calidad. El período de tiempo adecuado de almacenamiento de la carne varía según la especie y el tipo de producto. Además se ve influenciada por la temperatura del congelador, por las fluctuaciones de temperatura y la calidad de los materiales de envasado (Jasper y Placzek, 1978).

En general la vida de anaquel de todos los tipos de carne congelada puede prolongarse disminuyendo la temperatura de almacenamiento. La mayoría de los cambios químicos pueden eliminarse bajando la temperatura hasta -80°C , pero tales temperaturas en la mayoría de los almacenes no son económicamente factibles, generalmente se emplean temperaturas que van de los -20°C hasta los -40°C . Es por ello que es importante mantener controladas otras condiciones como el tipo de embalaje a utilizar y la exclusión de oxígeno en el empaque. El crecimiento de microorganismos causantes de putrefacción y deterioro y la mayoría de las reacciones enzimáticas se reducen mucho a temperaturas menores de -10°C . En general para las unidades de congeladores industriales, se manejan temperaturas menores a -18°C (Jasper y Placzek, 1978; Forrest y cols., 1979; Desrosier, 1997).

La actividad metabólica de la totalidad de las bacterias patógenas se paralizan a temperaturas por debajo de 3°C . Temperaturas menores a -10°C inhiben el crecimiento de todas las bacterias y de las mayorías de las levaduras

y mohos. Por lo tanto el almacenamiento a -18°C puede considerarse como un buen método de control de la flora microbiana (Forrest y cols., 1979).

Descongelación. La calidad de la carne no depende solamente del estado de ésta tras el sacrificio, de la técnica de congelación y/o las condiciones climáticas de almacenado, sino en gran medida del método seguido en la descongelación. Cuando esta operación no se lleva a cabo correctamente desaparecen en gran parte las ventajas de un correcto tratamiento frigorífico (Tressler y cols., 1978).

Un signo característico de la carne descongelada es la pérdida de líquido alcanzado en el proceso de congelación. Cuanto mayor sea esta pérdida se verá reflejado en un mayor daño en las características de calidad en la carne descongelada (Gruda y Postolski, 1990).

Cuando la descongelación de la canal es lenta, se consigue una gran cantidad de reabsorción de agua celular, mientras que en canales rápidamente descongeladas se produce una intensa salida del jugo de la carne. Con este jugo se pierden valiosas sustancias sápidas y minerales, por lo que una carne descongelada de forma rápida resulta insustancial y de consistencia reseca (Gruda y Postolski, 1990; Girard, 1993).

Existen varios métodos de descongelación, pero hay dos que son los más utilizados. El primero consiste en aportar calor a la superficie del producto, para lo cual se expone la superficie de esta a la acción del aire, vapor de agua, agua líquida o a la influencia de superficies calientes. En el segundo procedimiento, el calor se genera dentro del producto, por calentamiento con

microondas o corriente eléctrica, o también aprovechando la resistencia eléctrica (Jasper y Placzek, 1978). Las diferentes aplicaciones de la congelación han dado lugar a que se lleven a cabo investigaciones en donde se busca conocer la magnitud del daño que sufre la carne en su estructura, funcionalidad y características de calidad.

Barbut y Mittal (1990) encontraron que la carne de aves sufría daño en su estructura utilizando la congelación lenta, teniendo pérdidas significativas en CRA, y por consecuencia una disminución en las propiedades funcionales y de calidad. Abdel-Gawwad y *co/s.* (1988) encontraron que la congelación lenta con un período de almacenamiento de 3 meses es la que ocasiona mayor pérdidas en la carne de búfalo no solamente en su estructura, sino también al descongelar la carne el líquido contenía proteínas, aminoácidos, hierro y vitamina B, además de disminuir la capacidad de retención de agua. Farouk y Swam (1998), congelaron carne de res a -20°C con una temperatura inicial de almacenamiento durante el *rigor* distinto (10 y 35°C). En este experimento encontraron que se puede alterar las propiedades funcionales de la carne de res modificando temperatura de almacenamiento durante el *rigor mortis*.

La USDA-AMS (Departamento de la Defensa de EUA) sugiere para la carne de avestruz temperaturas de refrigeración de 0 a 4.4°C , para un almacenamiento de 14 días en condiciones de vacío. En los casos de la congelación se recomiendan temperaturas de -18°C por un período de 6 meses y para su descongelación condiciones de -2.2 a 2°C durante 2 días. A pesar de

tener establecidas estos parámetros, se ha visto una pérdida considerable en la CRA de la carne y esto se refleja en la pérdida de peso y de propiedades funcionales y de calidad de la misma (Nor-Mar Ostrich Farm, 2001).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

Este estudio se realizó en el Área de Investigación Productos Cárnicos de la Dirección de Tecnología de Alimentos de Origen Animal, en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD, A.C.), con el apoyo financiero de Fundación Produce Sonora, A.C.

Materia Prima

Se utilizó carne de avestruz aportada por Avestruces de Sonora, S.A. de C.V. miembro de la Asociación de Productores de Avestruz en Sonora. Se utilizó el corte conocido como *Tip* de la pierna del ave mismo que se ilustra en la figura 7. Las muestras utilizadas para este estudio fueron de animales con 24 horas postmortem. Previo a los tratamientos, la carne fue cortada en piezas rectangulares de 10 x 15 cm con un espesor de 2.5 cm con un peso aproximado por pieza de 350 g para posteriormente ser empacados al vacío en bolsas de poliestireno.

Métodos

Los ciclos de congelación-descongelación evaluados fueron realizados de acuerdo a lo especificado por González-Méndez y *co/s* (1985). Como control

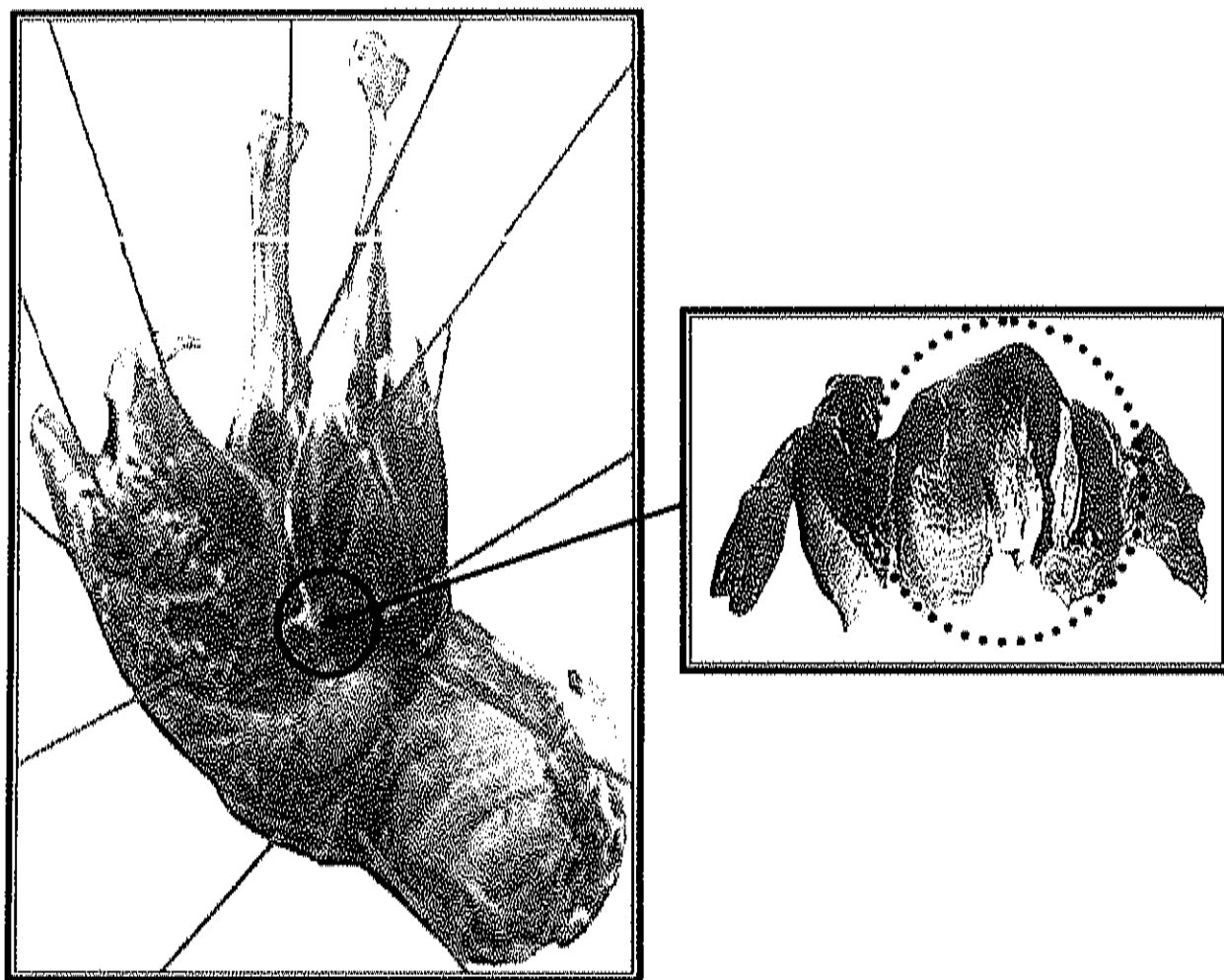


Figura 7. Ubicación Anatómica del Corte Conocido como *Tip* en la Canal del Avestruz.

Fuente: International Ostrich Association, 2003.

se utilizó carne fresca almacenada a 2°C por 24 h. Los ciclos fueron los siguientes:

1. Congelación Rápida – Descongelación Rápida (CRDR).
2. Congelación Rápida – Descongelación Lenta (CRDL).
3. Congelación Lenta – Descongelación Rápida (CLDR).
4. Congelación Lenta – Descongelación Lenta (CLDL).

Para la congelación rápida, las muestras fueron expuestas a nitrógeno líquido a -195°C durante 10 min, la congelación lenta se realizó en una cámara de congelación con corriente de aire a -20°C durante 36 min, mientras que la descongelación rápida se llevó a cabo en un baño de agua (Shaker Bath, mod. 3540, Lab-Line Instrument Inc., Illinois, EUA) con temperatura controlada a 20°C durante 16 min y por último, la descongelación lenta se realizó en una cámara de refrigeración a 2°C por 12 h.

Los tiempos en cada proceso se determinaron utilizando la ecuación de Plank modificada por Nagaoka en 1955 (Girard, 1993):

$$t = \left[\frac{\rho \cdot H}{T_c - T_\alpha} \left(\frac{0.5a}{h} + \frac{0.125(a)^2}{\lambda} \right) \right] \left[1 + 0.0008(T_1 - T_c) \right]$$

Donde:

t = Tiempo de congelación.

ρ = Peso específico de la masa a congelar.

ΔH = Entalpía para las temperaturas utilizadas.

T_c = Temperatura Inicial.

T_α = Temperatura Final.

a = Area del producto a congelar.

λ = Conductividad térmica del producto.

T_1 = Temperatura de inicio de congelación.

h = Coeficiente de transferencia de calor.

Terminados los tratamientos se procedió a realizar los análisis de calidad y de propiedades funcionales en las muestras descongeladas.

Calidad de la Carne

Potencial de Hidrógeno

Para la medición del potencial de hidrógeno (pH) se tomaron 10 g de carne molida por muestra y se le adicionó 100 mL de agua destilada (AOAC, 1997). Para la medición se utilizó un potenciómetro Beckman modelo 50 (Beckman Instruments Inc. Fullerton, California, EUA), manteniendo en agitación las muestras durante la lectura.

Pérdida de Agua

Para la pérdida de agua (PA) en carne se siguió la técnica utilizada por Barbut y Mittal (1990). Se tomaron 10 g de muestra y se mezclaron con 10 mL de una solución 0.25M de NaCl. Posteriormente se centrifugó a 5000 x g por 1 min (5,500 rpm). La PA se reportó como el porcentaje de pérdida de peso.

Esfuerzo al Corte

Para la medición del esfuerzo al corte (WB) se utilizó un medidor de textura Instron Universal mod1132 (Instron Corporation Canton, M.A.), al cual se le adaptó la cuchilla Warner-Bratzler. El equipo fue calibrado con una celda de carga de 50 Kg y un rango máximo de 5 Kg a una velocidad de cabezal de 10 cm/min. Para realizar estas mediciones, las muestras fueron cortadas en forma de un prisma de 1 x 1 x 2 cm.

Color

La carne de avestruz fue colocada en placas petri desechables para ser depositadas en el porta muestras del colorímetro (Hunter Lab D5 serie 15822 U.S.). Se tomó lectura de 5 lugares distintos de cada placa. La medición incluyó la determinación de los valores **L**, **a**, **b** y el cálculo del ángulo de matiz o Hue. El valor **L**, representa la luminosidad o palidez de la carne tiene una escala que va desde un valor de 0 que es un negro total, hasta 100, que representa un blanco perfecto; un valor de 50 corresponde a un color gris. El valor de **a**, va de la escala positiva a la negativa siendo el rojo el máximo cuando los valores son positivos, gris cuando es 0 y verde cuando es mínimo o si los valores son negativos. El valor **b**, determina el color amarillo si los valores son positivos o máximos, gris cuando es 0 y azul cuando es negativo o mínimo (Little, 1975). Además, el ángulo de matiz o Hue se obtuvo utilizando la fórmula: $\tan^{-1}(b/a)$

(Francis, 1975; McLelland y cols, 1995), esta medición representa el color real del alimento y expresa numéricamente el incremento de color rojo relacionando trigonométricamente los valores a y b (Little, 1975).

Funcionalidad de Proteínas Solubles en Solución Salina

Extracción de Proteínas Solubles en Solución Salina

La extracción de las proteínas solubles en solución se realizó aplicando la técnica descrita por Camou y Sebranek (1991) con algunas modificaciones que se muestran a continuación con el fin de mejorar la extracción de proteína soluble. Las muestras de carne se molieron en una licuadora Osterizer mod. 855-50 (Sunbeam Mexicana, México) durante 20 segundos en la segunda velocidad con 3 partes de un buffer de fosfatos (NaH_2PO_4 y Na_2HPO_4 0.1M, NaCl 0.5M y NaN_3 0.1mM a un pH=6.5 y fuerza iónica=0.6. Posteriormente se depositó la mezcla en tubos Beckman de 69 x 160 mm (500mL), y se le dió un reposo de 12 h a 2°C con el fin de extraer la proteína soluble.

Después del reposo la mezcla se centrifugó durante una hora a 12,800 x g a una temperatura de 2°C en una centrifuga refrigerada Beckman mod. J2-21 (Beckman Instrument Inc., Palo Alto, California, EUA). El sobrenadante obtenido se filtró en una gasa de algodón y se depositó en un frasco de cristal, obteniéndose el extracto de proteínas solubles en solución salina.

La concentración de proteína del extracto se determinó por el método Biuret (Gornall y *cols.*, 1949), y se reportó como mg de proteína soluble por mL de solución.

Indice de Actividad Emulsificante

El índice de actividad emulsificante (IAE) se llevó a cabo mediante el método de Pearce y Kinsella (1978). Se prepararon 6 mL de una solución al 1% p/v de la muestra proteica en buffer de fosfatos 0.10 M pH 6.5, en un tubo de centrifuga de plástico de 50 mL y se le agregaron 2 mL de aceite de maíz comercial Mazola[®] (Productos de Maíz S.A., México D.F.). La emulsión se homogenizó a 8000 rpm por 1 min en un homogenizador Ultra Turrax T25 a 25°C. Se dejó reposar 1 min y se tomaron 10 µL de emulsión del fondo del tubo, que se añadieron a 2 mL de una solución al 0.3% p/v de dodecil sulfato de sodio. Se leyó la absorbancia a 500 nm en un espectrofotómetro Lambda 3B Perkin Elmer (Norwalk, Connecticut, EUA) usando dodecil sulfato de sodio al 0.3 % p/v como blanco.

El IAE se reportó en m²/g (Pedrosa y *cols.*, 1997) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{IAE} = (2 \times 2.303 \times A_{500}) / (C \times m \times L)$$

Donde A_{500} es la absorbancia a 500 nm, C es el peso de la muestra por unidad de volumen de la fase acuosa antes de la formación de la emulsión (0.01 g/mL

en este caso), m es la fracción volumen del aceite en la emulsión (0.25) y L es la longitud de haz de la celda de plástico (1 cm).

Gelificación Térmica

Para determinar la gelificación térmica (GT), las proteínas solubles se convirtieron en geles siguiendo la técnica de Camou y Sebranek (1991). Se colocaron 30 g de la muestra a una concentración de 30 g/ mL, a temperatura ambiente en vasos de precipitado de 100 mL. Estos se taparon con papel aluminio para evitar la evaporación durante el calentamiento. El tratamiento térmico se realizó en un baño de agua (Shaker Bath, mod. 3540, Lab-Line Instrument Inc., Illinois, EUA) hasta que las muestras alcanzaron una temperatura interna de 70°C. Los vasos fueron removidos del baño de agua y enfriados en un recipiente con hielo. Posteriormente se almacenaron en refrigeración a 0°C durante 12 h, para estabilizar la estructura del gel.

Fuerza de Gel

Se evaluó la fuerza de gel (FG) utilizando el método de extrusión por compresión (Bourne, 1982). Para ésta técnica se utilizó un medidor de textura universal modelo 1132 (Instron Corporation, Canton, Massachusetts, EUA), provisto de una celda de carga de 50 kg y un émbolo de 35 mm de diámetro,

con una velocidad de cabezal de 10 cm/min. La compresión se realizó al 80% de la altura original del gel. El pico máximo de fuerza durante la compresión se registró en Kilogramos-fuerza (Kgf).

Pérdida de Agua en Gel

Para evaluar la pérdida de agua (PA) en los geles (proteínas solubles) se utilizó la técnica descrita por Lan y *co/s.* (1995). Después de medirse la FG los geles fueron transferidos a tubos Beckman de 29x104 (50 mL) y centrifugados a 5000 rpm durante 15 min a una temperatura de 2°C en una centrifuga refrigerada. El valor de PA se expresó en porcentaje de pérdida de peso con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ PA} = \frac{\text{peso del gel antes de centrifugar} - \text{peso del gel después de centrifugar}}{\text{peso del gel antes de centrifugar}} \times 100$$

Pérdida de Proteína

La pérdida de proteína (PP) se realizó con el método de Biuret (Gornall y *co/s.*, 1949). Después de la centrifugación se tomaron alícuotas de 0.5 mL de agua liberada por los geles para su análisis. La pérdida se registró como mg de proteína por mL de solución.

Electroforesis en Gel de Poliacrilamida bajo Condiciones Desnaturalizantes y Reductoras

Para la identificación de proteínas de la carne se usó la técnica de electroforesis en gel continuo de poliacrilamida al 10% en condiciones desnaturalizantes y reductoras (SDS-PAGE; por sus siglas en inglés) de acuerdo a Laemmli (1970), con algunas modificaciones. Se utilizó una unidad para electroforesis MIGHTY SMALL II mod. SE250 (Hoefer Scientific Instrument, San Francisco, California, EUA). La cantidad de proteína depositada en las fosas del gel fue de 25 µg/muestra. La corrida de electroforesis se realizó a 20 °C utilizándose primero una corriente de 50 volts, periodo en el cual las muestras migaron del gel superior. Cuando las muestras entraron al gel de separación se elevó la corriente a 110 volts, la cual permaneció constante hasta el final de la corrida (aproximadamente 2.3 h). Los geles obtenidos se tiñeron con azul de Comassie R250 al 0.125%. Las bandas de las proteínas se identificaron comparándolas con los pesos moleculares de un estándar comercial de amplio rango de peso molecular (Bio-Rad Laboratories, Hércules, California, EUA).

Para obtener el número de bandas promedio y la proporción de miosina y actina en cada muestra, se tomó la imagen de los electroferogramas en un densitómetro de imágenes mod. GS-710 (Bio-Rad Laboratories, Hércules, California, EUA). Posteriormente se llevó a cabo un análisis de imagen con el programa Multi-Analyst® versión 1.1 (Bio-Rad Laboratories/PC, 1997).

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Los datos fueron analizados bajo un diseño experimental unifactorial donde el efecto principal fueron los tratamientos ó ciclos de congelación-descongelación (4 y el control) sobre las características de calidad de la carne y propiedades funcionales proteicas. Se realizo un análisis de varianza y cuando existieron diferencias ($P < 0.05$), se hicieron comparaciones de medias por la prueba de rango múltiple de Tukey-Kramer. Además se realizó una matriz de correlación entre las variables de respuesta (parámetros de calidad y funcionalidad). Todos los datos fueron procesados en el paquete estadístico NCSS ver. 6.0.2 (1997).

RESULTADOS Y DISCUSION

Calidad de la Carne

Potencial de Hidrogeno

En el cuadro 4 se muestran los promedios obtenidos de las mediciones de pH en carne fresca de avestruz para los distintos tratamientos de congelación-descongelación. Se encontró efecto ($P < 0.05$) de los tratamientos sobre el pH de la carne, siendo los pH's mas altos para los ciclos CRDL y CRDR, los cuales fueron diferentes a los demás ($P < 0.05$). Sin embargo CRDL y CRDR fueron similares ($P > 0.05$). Esto nos indica que hay un aumento en el pH al emplear una congelación rápida.

Altos valores de pH también fueron reportados por Otremba y cols. (1999), que utilizaron carne de avestruz congelada y empacada al vacío para posteriormente descongelarla y medir su pH, encontrando valores en un rango de 6.2 a 6.4. Lo anterior muestra a la carne de avestruz con un pH final alto en comparación con especies como el cerdo, bovino y pavo, lo cual la hace más susceptible a tener una vida de anaquel más limitada (Paleari y cols., 1998).

Redmond y cols. (2000), estudiaron el efecto de la congelación a -20 y a -10°C en carne y canal de cordero, no encontrando diferencia ($P > 0.05$) entre los

Cuadro 4. Parámetros de Calidad en Carne de Avestruz Sometida a Diferentes Ciclos de Congelación-Descongelación (Promedio \pm EE).

Variable	Tratamientos			
	Control	CLDL	CLDR	CRDL
pH	6.20 ^a \pm 0.005	6.22 ^a \pm 0.004	6.18 ^a \pm 0.01	6.56 ^b \pm 0.004
PA	3.81 ^c \pm 0.10	8.29 ^a \pm 0.21	6.50 ^b \pm 0.19	0.71 ^e \pm 0.29
Color L	22.24 ^c \pm 0.08	20.22 ^a \pm 0.10	21.27 ^b \pm 0.06	24.41 ^d \pm 0.05
Color a	10.96 ^b \pm 0.04	9.88 ^a \pm 0.04	10.67 ^b \pm 0.1	11.84 ^c \pm 0.04
Color b	4.1 ^{bc} \pm 0.05	3.92 ^{ab} \pm 0.02	3.90 ^a \pm 0.02	5.04 ^d \pm 0.06
HUE	20.49 ^a \pm 0.26	21.67 ^b \pm 0.17	20.12 ^a \pm 0.18	23.07 ^c \pm 0.28
EC	3.09 ^b \pm 0.02	2.33 ^a \pm 0.03	2.62 ^{ab} \pm 0.06	4.65 ^d \pm 0.02
CRDR				6.57 ^b \pm 0.01

Promedios con diferentes apéndices dentro de las filas indican diferencias significativas entre los tratamientos (P<0.05).

pH: Potencial de Hidrógeno (m²/g).

HUE: Ángulo de Matiz. (Kgf).

PA: Pérdida de Agua (%).

EC: Esfuerzo al Corte.

pH's finales (6.72 y 6.63 respectivamente), sin embargo existió una tendencia similar a la obtenida en nuestro experimento, es decir que a una temperatura de congelación más baja, se observó un pH más alto.

Así mismo, Petrovic y cols. (1993), no encontraron diferencias en el pH del músculo *Longissimus dorsi* de res al someterlo a 6 diferentes velocidades de congelación, además de un control que fue carne fresca, observando una tendencia de valores más altos de pH a temperatura de congelación más bajas.

Boles y Swan (1996) utilizaron la congelación rápida con nitrógeno líquido, congelación media a -40°C y congelación lenta a -10°C en carne *pre rigor* de res. Al descongelar y hacer mediciones no encontraron diferencias en el pH de los tres tratamientos obteniendo valores promedio de 5.78, 5.7 y 5.69 respectivamente, sin embargo se puede observar el mismo comportamiento que en los trabajos antes mencionados.

Jeremiah (1996), Erickson y Hung (1997) atribuyen el descenso de pH a la pérdida de agua, esto es debido a que en los tratamientos donde se llevó a cabo congelación lenta y a temperatura más alta, el daño mecánico ocasionado por la formación de cristales más grandes en las fibras repercute en la salida agua del tejido, la cual contiene sales de hierro y/o sodio que contribuyen a que la carne tenga un pH alto. Lo anterior se comprobó a través del análisis de correlación donde se observó una asociación de 0.8446 ($P < 0.05$) entre estas variables del 0.8446 (ver anexo 1).

Pérdida de Agua en Carne

En la pérdida de agua en carne se encontró un efecto ($P < 0.05$) de los ciclos de congelación-descongelación. Así se observa en el cuadro 4 que la carne fresca mantuvo una pérdida de peso del 3.81% y que los dos ciclos de congelación lenta, mostraron una mayor pérdida ($P < 0.05$), mientras que los de congelación rápida presentaron valores incluso menores al 1% ($P < 0.05$). De esta forma tenemos que el tratamiento CLDL tuvo una pérdida de 11 veces más que el tratamiento CRDL que presentó el valor más bajo ($P < 0.05$).

Autores como Otremba y *co/s.* (1999) también reportaron pérdidas de peso en carne molida y steak de avestruz refrigerada (previamente congelada) en un rango de 3 a 11.5% en un período de almacenamiento de 28 días a una temperatura de $0 \pm 2^{\circ}\text{C}$, observándose una tendencia similar a lo obtenido en éste estudio.

También Abdel-Gawwad y *co/s.* (1988) congelaron carne de búfalo a tres diferentes temperaturas -10 , -20 y -40°C , encontraron que a menor temperatura de congelación, menor era la pérdida de agua en el músculo y que estas mermas se elevaban con el paso del tiempo de almacenamiento. La menor pérdida ocurrió al tiempo 0 con una temperatura de almacenamiento de -40°C y la mayor a los 90 días a -10°C . Este comportamiento lo observaron también Petrovic y *co/s.* (1993), que al aumentar la velocidad del aire frío con que congelaban; al descongelar y cocinar la carne presentó una menor pérdida de peso en las muestras.

Mittal y Barbut (1991), congelaron carne de res picada utilizando nitrógeno líquido (N_2), además de congelación rápida y lenta con ráfaga de aire; posteriormente todas las muestras fueron descongeladas y las compararon entre ellas a una semana de almacenamiento y después a seis meses. Encontraron que a una semana no existe mucha variación entre los tratamientos. Sin embargo, a los seis meses se observa diferencia entre los tres tratamientos de congelación, obteniéndose mejores resultados en la congelación rápida sobre el N_2 y la congelación lenta (39.8, 49 y 67% respectivamente). Estos valores son altos si los comparamos con los obtenidos en este estudio (0.71-8.29 %). Cabe señalar que Mittla y Barbut (1991) solo utilizaron una forma de descongelar (la cual no se especifica en su estudio) y eso, además de la especie, pudo tener influencia en los resultados que obtuvieron.

Estas diferencias y tendencias en los diversos estudios se pueden atribuir, en primera instancia, a la forma de congelar, ya que la congelación lenta favorece la formación de cristales de hielo en forma de aguja y de un mayor tamaño capaces de atravesar la membrana celular, con lo cual se aumenta el daño mecánico en la fibra muscular y promoviendo una mayor pérdida agua en el tejido. Aunado a esto y como ya se mencionó en los resultados de pH, con la pérdida de agua hay salida de sales que alteran el pH original de la carne y que pueden ocasionar una desnaturalización de las proteínas y con ello una pérdida en su capacidad de retención de agua. Para el caso de la congelación rápida

se forman numerosos cristales de un tamaño muy pequeño e individual que no dañan significativamente a las fibras musculares. Como resultado se tiene que la congelación rápida en la carne causa menos efectos perjudiciales que la lenta (Collin, 1977; Tressler, 1978; Gruda y Postolski., 1990; Girard, 1993; Mafart, 1994).

En segundo lugar, la velocidad de descongelación también tiene un efecto importante, ya que del tiempo en que ésta se lleve a cabo se podrá dar una recuperación de las funciones de la fibra muscular, esto es, a mayor tiempo de descongelación, mayor tiempo tiene la fibra de recuperar al menos una parte de sus funciones (Jeremiah, 1996). Lo anterior se explica de la siguiente manera: al iniciar el proceso de descongelación, el agua libre es la primera en volver a su estado líquido, ocasionando con esto una migración de ésta hacia el interior de la célula en donde la concentración de sales es mayor con el fin de establecer un equilibrio entre el exterior y el interior de la célula (presión osmótica). Con esto se logra que el pH vuelva a su valor inicial, ocasionando al mismo tiempo que las proteínas tomen su conformación original y recuperen así sus funciones, en este caso en particular, la capacidad de retener agua, reduciendo la pérdida de líquido en la célula (Erickson y Hung, 1997).

Con base al párrafo anterior y al análisis de correlación realizado en este estudio, se puede establecer que la pérdida de agua en la carne tiene una relación muy importante con los otros parámetros de calidad como son pH, color y esfuerzo al corte (ver anexo 1).

Color

Dentro de los parámetros de color (Cuadro 4), existieron diferencias entre los tratamientos ($P < 0.05$), donde los valores más altos de **L**, **a** y **b** los obtuvieron el tratamiento CRDL, mientras que menor de ellos fue CLDL.

Estas diferencias pueden ser atribuidas al efecto del aumento en la concentración de fierro, por la pérdida de agua. Este metal reacciona con el oxígeno presente en la mioglobina ocasionando una aceleración en la transformación de oximioglobina a metamioglobina (Paleari y cols., 1998).

Además de la mioglobina, existen pequeñas concentraciones de diferentes sistemas enzimáticos como las peroxidasas y las enzimas responsables del mecanismo de transporte de electrones como los citocromos y las flavinas cuyas coenzimas o grupos prostéticos tienen propiedades cromóforas (Badui, 1990).

Al calcular los valores de ángulo de matiz o Hue se encontró que no existió diferencia ($P > 0.05$) entre el control y el tratamiento CLDR, así mismo los tratamientos CLDL y CRDR no presentaron diferencia entre ellos ($P > 0.05$), y en el caso del tratamiento CRDL fue diferente al resto. Todos los valores obtenidos para los diferentes tratamientos y el control (carne fresca) se localizan dentro del cuadrante I del ángulo de matiz o Hue en donde los valores de **a** y **b** son positivos. Cabe mencionar que a pesar de existir diferencias significativas estadísticamente hablando entre los tratamientos ($P < 0.05$), visualmente no se apreció una diferencia entre ellos, esto probablemente se

debe al color rojo intenso de la carne de avestruz.

Otremba y cols. (1999), realizaron un estudio congelando carne de avestruz empacada al vacío a -40°C . Se realizaron monitoreos en las muestras, encontrando valores de $L=29.68$, $a=9.72$ y $b=9.89$ en carne fresca, y valores de $L=29.62$, $a=9.45$ y $b=7.89$ después de congelada, no encontrando diferencias significativas ($P>0.05$) en los dos primeros, pero si en b . Es importante mencionar que en este experimento no se observó diferencia en la pérdida de agua, lo cual ayudó a mantener estable el comportamiento del color.

Los datos obtenidos en nuestro experimento en cuanto al control (carne fresca), están por debajo de los obtenidos por Otremba y cols. (1999), esto probablemente se deba a la alimentación (adición de hierro aumenta la concentración de mioglobina en el músculo), raza, manejo y actividad física de los animales e incluso de la actividad de cada músculo (Lawrie, 1998).

Este comportamiento en los parámetros de color también fue observado en trabajos realizados por Ohene-Adjei y cols. (2002), quienes congelaron carne de cerdo a -30°C y la compararon con carne fresca y no encontraron diferencias significativas ($P>0.05$) en los parámetros de L , a y b . Sin embargo, cabe mencionar que tampoco existió diferencia en la pérdida de agua lo cual indica que éste factor influye en los valores de color.

Esfuerzo al Corte

En este parámetro se encontraron diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$), aunque cabe señalar que la carne fresca y CLDL mostraron el mismo esfuerzo al corte, y este último a su vez fue igual a CLDR (Cuadro 4). Como se puede apreciar, los tratamientos de congelación rápida estuvieron por encima de los de congelación lenta, lo cual significa que durante estos últimos pudiera haber un daño mayor debido a la formación de cristales amorfos y de gran tamaño que tienden a dañar el tejido muscular. Caso contrario en los tratamientos de congelación rápida, en donde se mantiene un esfuerzo al corte mayor por la formación de cristales más homogéneos y pequeños que no dañan de forma importante la pared de las células musculares (Gruda y cols., 1990; Girard, 1993; Mafart, 1994).

Sales (1996) reportó en un estudio de caracterización de músculos de avestruz un promedio de 3.35 Kgf de esfuerzo al corte para 6 diferentes músculos, el cual es muy similar al obtenido en este estudio para el control (carne fresca).

Van Moeseke y cols. (2001), enfriaron carne de res en una solución salina al 3.4% a una temperatura de -2°C y aparte congelaron carne de esta misma especie a $-22.5 \pm 2.5^{\circ}\text{C}$. En los tratamientos se observó que a -2°C los valores esfuerzo al corte fueron más pequeños (114.4 N), que a -22.5°C (124.7 N).

Así mismo Redmond y cols. (2000), observaron que el comportamiento del esfuerzo al corte de carne de cordero a -4 , -10 y -20°C tendió a aumentar

con el uso de temperaturas cada vez más bajas. Esta tendencia, así como la del estudio realizado por Van Moeseke y cols. (2001), son similares al comportamiento de las muestras en este trabajo. Este comportamiento responde a un acortamiento por frío *post rigor* en la fibra muscular al utilizar congelación rápida y una descongelación rápida que repercute en una pérdida de agua y al aumento en la concentración de solutos en la célula (Price y Schweigert, 1987; Harris y Shorthose, 1988 y Jeremiah, 1996).

Funcionalidad de Proteínas Solubles en Solución Salina

Proteína Soluble en Solución Salina

La determinación de proteína soluble es muy importante ya que estas son, en gran parte, responsables de las características de calidad y funcionalidad, ya sea en carne fresca o producto procesado. En el Cuadro 5 se presentan los resultados obtenidos de la extracción de proteína. En los tratamientos CLDR y CRDR no existieron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre ellos, siendo también los ciclos en donde se obtuvo una menor concentración de proteína en solución (37.55 y 37.35 mg de proteína/ml de solución, respectivamente). Los otros tres tratamientos fueron diferentes a los dos primeros ($P < 0.05$), así como entre ellos mostrándose una mayor concentración de proteína soluble en el tratamiento CRDL (79.62 mg de

Cuadro 5. Concentración de Proteína Soluble Para los Diferentes Tratamientos (Promedio \pm EE).

Concentración de Proteína Soluble	
Tratamientos	(mg de proteína/ml de solución)
Control	$66.84^b \pm 0.72$
CLDL	$72.68^c \pm 0.21$
CLDR	$37.55^a \pm 0.19$
CRDL	$79.62^d \pm 0.09$
CRDR	$37.35^a \pm 0.56$

Literales diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$).

proteína/ml de solución), siendo esta aproximadamente el doble de CLDR y CRDR. Cabe mencionar que el Control y CLDL obtuvieron concentraciones superiores a CLDR y CRDR, incluso por encima de los 50 mg de proteína/ml de solución, esto es, 66.84 y 72.68 respectivamente.

Alejandro (2000) reportó una concentración de proteína soluble de 69.5 mg/ml de solución salina en carne fresca, resultado que es similar a lo obtenido en este trabajo en el tratamiento control. Estas concentraciones son superiores a lo obtenido en otras especies como cerdo, pavo, pollo y caballo (57.78, 61.26, 52.16 y 53.46 mg/ml, respectivamente).

Erickson y Hung (1997), así como Calvelo (1981) mencionan que la desnaturalización de las proteínas por efecto de la congelación se atribuye a la formación de cristales, deshidratación, presión osmótica y la concentración de sales presentes. También hacen mención a que estos daños se pueden dar en 2 mecanismos: 1). Cuando la velocidad de congelación es lenta, el exterior de la célula se congela primero que el interior separando el agua de las sales y formando cristales grandes y amorfos capaces de romper la pared celular. Las sales de exterior se concentran creando un gradiente de presión osmótica ocasionando que el agua del interior migre al exterior llevándose a cabo una deshidratación (mayor exposición de grupos hidrofílicos) y un aumento en la fuerza iónica de la célula (Modificación de las interacciones electrostáticas) ocasionando un cambio conformacional de las proteínas, de tal forma que ya no se encuentran en solución en el tejido. 2). Cuando se lleva a cabo una

congelación rápida, se forman cristales pequeños y esparcidos de manera uniforme provocando un daño mínimo en el tejido.

En la descongelación hay un fenómeno de reabsorción de agua en el tejido que está dado en relación con el daño sufrido por el tejido (células musculares), a la velocidad con que esta se lleve a cabo (a menor velocidad, mayor recuperación) y a la cantidad de proteína que no sufrió una desnaturalización considerable (Girard, 1993).

Nakai y *co/s.*(1995) congelaron carne de bovino a -20 y -50°C , y encontraron que hubo una mayor desnaturalización de las proteínas en la carne congelada a -20°C que a -50°C , en donde se encontró una mayor concentración de proteína soluble.

Wagner y Añón (1985) estudiaron el efecto de la congelación lenta en la desnaturalización de las proteínas, encontrando que esta disminuye la actividad de ATPasa dependiendo de su velocidad, esto es, a menor velocidad de congelación, menor será la reducción de la actividad de ATPasa. Sin embargo no obtuvo diferencias ($P < 0.05$) en la cantidad de proteína soluble de los tratamientos. Esto lo atribuyeron a una posible agregación de proteínas por la exposición de grupos hidrofóbicos, lo cual incrementó la fuerza iónica en la célula. Todo lo anterior como consecuencia de la migración del agua en la miofibrilla al exterior de la célula durante el almacenamiento.

Electroforesis en Gel de Poliacrilamida bajo Condiciones Desnaturalizantes y Reductoras.

Los resultados del patrón electroforético de proteínas solubles en solución salina en carne de avestruz en los diferentes ciclos de congelación-descongelación se muestran en la Figura 8. Se pueden apreciar las bandas de proteínas que se manifestaron en mayor proporción, fueron miosina y actina en todos los tratamientos, lo cual concuerda con lo realizado por Alejandro (2000) en carne de avestruz fresca. En el Cuadro 6 se muestran los resultados de la densitometría donde se aprecia el porcentaje que representan estas dos proteínas en el perfil electroforético.

Se puede apreciar en la figura siguiente que existió diferencia entre los tratamientos en cuanto a la densidad de las bandas, siendo la de mayor densidad la del tratamiento CRDL y la de menor concentración en CRDR; esto se confirmó con la densitometría donde existió una diferencia significativa entre los tratamientos ($P < 0.05$).

La congelación ocasiona la desnaturalización de las proteínas a través de factores como la pérdida de agua y la concentración de sales, que para el caso del perfil proteico, pudo afectar su disponibilidad de tal forma que la concentración de las proteínas solubles disminuyera de forma significativa, principalmente miosina y actina (Erickson y cols. 1997). En el caso de nuestro experimento, este comportamiento se apreció en los ciclos donde se incluía la descongelación rápida (CLDR y CRDR).

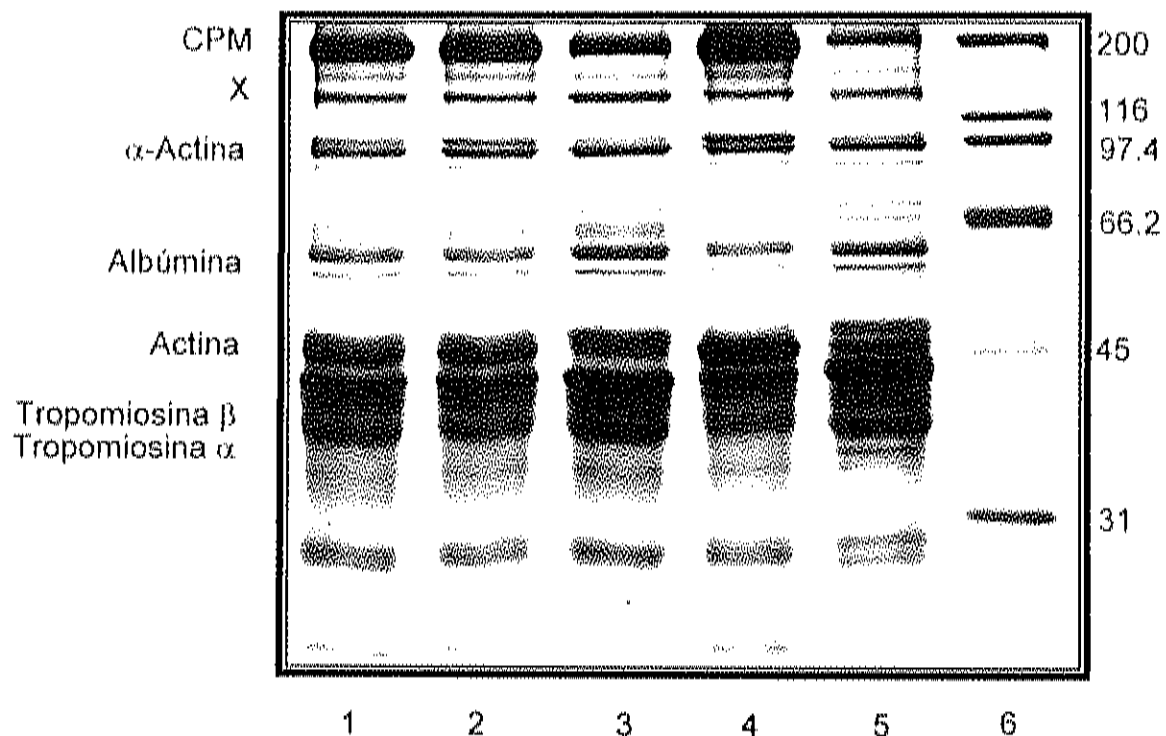


Figura 8. Perfil Proteico de Proteínas Solubles en Solución Salina de la Carne de Avestruz en SDS-PAGE para los Diferentes Tratamientos:
 1. Control, 2. CLDL, 3. CLDR, 4. CRDL, 5. CRDR y 6. Estándar.

CPM= Cadena Pesada de Miosina.

X = Meromiosina pesada, proteína C y proteína M.

D = Subunidades de la línea M y troponina T

Cuadro 6. Porcentaje de la Cadena Pesada de Miosina y Actina en los Extractos de Proteína Soluble de los Diferentes Tratamientos (Promedio \pm EE).

Cadena Pesada de			
Tratamiento	Miosina	Actina	M/A
Control	28.11 ^c \pm 0.34	9.58 ^b \pm 0.26	2.93
CLDL	29.52 ^d \pm 0.18	12.96 ^c \pm 0.08	2.27
CLDR	18.81 ^b \pm 0.18	9.63 ^b \pm 0.23	1.95
CRDL	33.30 ^e \pm 0.22	17.19 ^d \pm 0.17	1.93
CRDR	12.68 ^a \pm 0.08	7.55 ^a \pm 0.09	1.67

Literales diferentes dentro de la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$).

M/A = Relación Miosina/Actina en los extractos.

Nakai y *co/s.* (1995), también apreciaron este fenómeno en sus experimentos, encontrando que al aumentar la velocidad de congelación (-20 y -50°C) se obtienen en general bandas más densas de proteínas en SDS-PAGE.

Índice de Actividad Emulsificante

Para interpretar los valores obtenidos es necesario recordar que la función de una proteína que presenta actividad emulsificante es ser la interfase entre el agua y las grasas para formar la emulsión; esto se ve influenciado por la disponibilidad de la proteína y por la cantidad de espacio en la interfase. La teoría del esparcimiento de la luz en partículas dispersas indica que hay una simple relación entre la turbidez y el área interfacial de una emulsión. Por lo tanto tenemos que a mayor turbidez en una emulsión, la proteína tiene mayor capacidad para emulsificar, esto según la técnica desarrollada por Pearce y Kinsella (1978) para determinar el índice de actividad emulsificante.

En esta propiedad se presentaron diferencias ($P < 0.05$) entre todos los tratamientos, teniendo el valor más alto para CRDL con 1099.52 m²/g y más bajo para CRDR con 373.51 m²/g. Como se muestra en el cuadro 7, existe una tendencia en el comportamiento de los ciclos, esto es, los tratamientos donde se llevó a cabo descongelación lenta obtuvieron los valores más altos de actividad emulsificante, mientras que los tratamientos con descongelación rápida

Cuadro 7. Propiedades Funcionales de la Carne de Avestruz Sometida a Diferentes Ciclos de Congelación-Descongelación (Promedio \pm EE).

Tratamientos					
Variable	Control	CLDL	CLDR	CRDL	CRDR
IAE	794.05 ^e \pm 3.80	940.02 ^d \pm 4.21	400.80 ^b \pm 5.26	1099.52 ^e \pm 2.94	373.51 ^a \pm 5.40
CG	0.329 ^e \pm 0.006	0.384 ^d \pm 0.013	0.292 ^b \pm 0.003	1.176 ^e \pm 0.051	0.199 ^a \pm 0.023
PAG	38.71 ^b \pm 0.24	33.95 ^c \pm 0.15	39.48 ^a \pm 0.07	20.11 ^d \pm 0.11	40.08 ^a \pm 0.19
PPG	6.08 ^c \pm 0.05	7.37 ^d \pm 0.02	2.72 ^b \pm 0.04	1.77 ^a \pm 0.03	8.68 ^e \pm 0.05

Diferencia de medias dentro de filas indica diferencias significativas entre los tratamientos (P<0.05).

IAE: Índice de Actividad Emulsificante.

CG: Compresión de Gel.

PAG: Pérdida de Agua en Gel.

PPG: Pérdida de Proteína en Gel.

presentaron menor actividad, esto indica que existe un efecto por la velocidad de descongelación.

En trabajos realizados por Li-Chan y *cols.* (1985) analizaron el efecto de la congelación (-10°C) sobre la capacidad emulsificante de proteínas musculares. Extrajeron la proteína soluble con solución salina en ambas especies, fueron congeladas a -10°C y luego descongeladas a 4°C. Encontraron que para res, se obtenía la mayor capacidad emulsificante que para pescado.

La habilidad de las proteínas miofibrilares, principalmente miosina y actina, para estabilizar las grasas en una emulsión, se ve afectada por la congelación, esto es debido a una desnaturalización que evita que éstas se encuentren solubles en el músculo. Jiménez-Colmenero y *cols.* (1988) encontraron en músculo de pescado congelado que la solubilidad de la proteína se relacionaba directamente con la capacidad emulsificante, de tal forma que al disminuir la solubilidad, también descendía la actividad emulsificante. Sin embargo cuando miosina y actina se encuentran solubles aumenta la actividad emulsificante ya que a estas dos proteínas miofibrilares se les atribuye el mayor impacto en esta propiedad (Erickson y Hung, 1997). Lo anterior se plasma en los resultados obtenidos en este experimento en donde los tratamientos con una mayor porcentaje de miosina y actina tuvieron una actividad emulsificante mas alta y además se corrobora a través del análisis de correlación en donde existió un valor de 0.9913 para estas variables. (ver anexo 2).

Compresión de Gel

Las proteínas que principalmente influyen en la fuerza de gel son las miofibrilares y éstas son las responsables de la textura de un producto cárnico (Xiong y Blanchard, 1992).

Para la compresión de gel existió una diferencia ($P < 0.05$) entre los tratamientos. En el Cuadro 7 se muestran los resultados obtenidos para esta propiedad destacando que el valor menor lo obtuvo el tratamiento de CRDR y el mayor en CRDL, este último muy por encima de los demás valores. El valor obtenido en el tratamiento en CRDL sugiere una mayor capacidad de gelificación incluso es más alto que el obtenido por Alejandro (2000), 0.911 Kgf, el cual lo considera muy alto y apto para la elaboración de geles altamente resistentes.

También Alejandro (2000) encontró que las proteínas de la carne de avestruz y caballo formaban geles más fuertes, 0.911 y 0.939 Kgf respectivamente, que las otras especies animales tales como pollo, pavo, cerdo y res cuyos valores oscilaron entre 0.425 y 0.580 Kgf. Lo anterior pudo deberse a la mayor proporción de actina y miosina en las extracciones utilizadas por Alejandro en estas especies. Esto hace pensar que la carne de avestruz puede ser utilizada en la industria para dar una buena consistencia a productos cárnicos elaborados a partir de éste animal.

En otro estudio realizado por Barbut y Mittla (1990), se estudió el efecto de congelación en carne de ave, esto aplicando congelación con nitrógeno líquido,

ráfaga de aire directo (rápida) e indirecto (lenta) y carne fresca como control; enseguida se almacenaron las muestras a -18°C durante una semana, para posteriormente ser descongeladas a 4°C por 16 h. En este caso no encontraron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos, N_2 líquido 5.66 KPa, flujo de aire 5.97 KPa, congelación lenta 5.24 KPa; ni con el control, 5.28 KPa.

El tipo y calidad del gel formado depende de las proteínas y su interacción que se da entre ellas; además de otros elementos como concentración de proteína, sales, temperatura y pH que modifican la estructura y conformación del gel por aumento o disminución en la fuerza iónica (Camou y Sebranek, 1991; Hettiarachchy y Ziegler, 1994).

Estudios realizados por diversos autores han demostrado que la miosina forma excelentes geles y que la actina tiene menor calidad de gelificación, sin embargo tiene un efecto sinérgico sobre la gelificación de la miosina, dependiendo de la proporción miosina/actina (Asghar y *cols.*, 1984; Morita y *cols.*, 1987; Yamamoto y *cols.*, 1988).

Para el caso de este estudio la proporción de miosina y actina en el tratamiento CRDL es mayor lo cual influye directamente para que su capacidad de gelificación sea más elevada que la de los demás ciclos ensayados, además el valor que le sigue en mayor compresión es CLDL lo cual indica que además de una de haber un efecto por la congelación, la velocidad de descongelación también influye sobre el resultado final de las muestras analizadas.

Pérdida de Agua en Gel

Los geles, una vez sometidos a compresión, fueron centrifugados para obtener los porcentajes de pérdida de agua, los cuales fueron significativamente diferentes ($P < 0.05$) entre los tratamientos, excepto CRDR con 40.08% y CLDR con 39.48% que no presentaron diferencia entre ellos ($P > 0.05$) y que además tuvieron la mayor pérdida de agua en gel (cuadro 7).

Por otro lado el tratamiento que tuvo menor pérdida de agua fue CRDL, cuyo valor fue de alrededor del 50% menos que los dos mencionados anteriormente. Al observar la figura 8 se puede apreciar que las bandas de las cadenas pesadas de miosina (CPM) y actina, se encuentran en menor proporción en los tratamientos que tuvieron una mayor pérdida de agua, ya que miosina y actina son las dos proteínas miofibrilares que influyen mayormente en la retención de agua (Erickson y Hung, 1997).

Park y cols. (1993) congelaron carne de res a -28°C y probaron la funcionalidad en fresco y congelado, encontrando que la pérdida de agua en gel se veía afectada por la desnaturalización de las proteínas por causa del tratamiento de congelación.

Así mismo, Smith (1987), ensayó con carne de pavo, comparando congelación y refrigeración sobre la solubilidad de las proteínas miofibrilares y la gelificación de las mismas, encontrando que durante la congelación las proteínas se vuelven menos solubles, viéndose afectadas la capacidad de gelificación y la retención de agua de éste.

Pérdida de Proteínas

Para el caso de la pérdida de proteínas solubles en los geles que fueron comprimidos anteriormente se tuvo que todos los tratamientos presentaron diferencias significativas entre ellos ($P < 0.05$). Al revisar los valores promedios del Cuadro 7, se observa que el ciclo que menos pérdida de proteína presentó fue el de CRDL con 1.77 mg/ml y la mayor pérdida se observó en el tratamiento CRDR. Lo anterior sugiere que esta pérdida de proteínas se relaciona con la desnaturalización (cambio en la estructura) de las mismas por efecto de la congelación y además un efecto por la reabsorción de agua durante la descongelación que ayuda a recuperar en parte su estructura original lo que contribuye a que los geles formados sean más fuertes (Erickson y Hung, 1997 y Jeremiah, 1996).

Cabe señalar que existió una tendencia similar en el comportamiento de los datos en esta variable con la fuerza de gel, lo que indica que al ser más fuerte el gel, existe una menor pérdida de proteína, ya que existe una mayor cohesión de la red tridimensional del gel (Erickson y Hung, 1997).

Rahelic y cols. (1985) encontraron que la solubilidad de las proteínas miofibrilares de la carne de res se vio disminuida considerablemente a -22°C lo cual redujo la fuerza de los geles y por *ende* elevó la pérdida de proteínas de sus muestras.

De igual forma Park y cols. (1993) y Smith (1987) cada uno en sus respectivas investigaciones mencionada anteriormente, encontraron que el gel

se ve afectado (disminución de la fuerza de gel) por la desnaturalización de las proteínas durante la congelación y con esto también se vio un aumento en la pérdida de agua, así como en la pérdida de proteínas del gel.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los ciclos de congelación-descongelación afectaron las características de calidad y propiedades funcionales de la carne de avestruz, presentando diferencias significativas.

Se observó un efecto en la velocidad de descongelación sobre las características de calidad en carne de avestruz., principalmente en la pérdida de agua, la cual afectó a otras variables como pH y esfuerzo al corte.

Así mismo la velocidad de descongelación influyó de manera importante en la solubilidad de las proteínas miofibrilares, miosina y actina, y por consecuencia en otros parámetros funcionales como índice de actividad emulsificante y fuerza de gel.

El tratamiento que presentó mejores cualidades tanto de calidad como de funcionalidad fue Congelación Rápida - Descongelación Lenta (CRDL) y se recomienda que se utilice como proceso industrial, para minimizar el daño en las características de calidad y maximizar la funcionalidad de las proteínas miofibrilares.

Se recomienda establecer la importancia de la descongelación como un punto crítico dentro de los sistemas de congelación evaluándola en otras especies.

Elaborar estudios similares a este con diferentes músculos de avestruz y en otras especies con el fin de establecer si existe un comportamiento común entre ellos.

Realizar un estudio de vida de anaquel donde se analice el daño producido por los ciclos de congelación-descongelación a través del tiempo en la carne de avestruz y otras especies.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Gawwad, R. Hassan, R. Y Shalaby, M. 1988. Effect of freezing rate and frozen storage on Iron, Amino Acids and some B-vitamins content of drip from buffalo meat. Egypt. J. Food Sci. 16(1-2):203.
- Acton, J. y Dick, R. 1984. Protein-protein interaction in processed meat. American Meat Sci. Association, 37:36.
- Acton, J., Ziegler, G.R. y Burge, D.L. 1983. Functionality of muscle constituents in the processing of comminuted meat products. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 18(2):99.
- African Ostrich Marketing, 1999. URL: <http://www.african-ostrich.co.za/meat11.htm>.
- Análisis de Textura, 2002. URL: <http://www.analisisdetextura.com>.
- Alejandro, F. 2000. Comparación de la funcionalidad de las proteínas solubles en solución salina de carne de avestruz y otras especies de abasto. Tesis de maestría. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chihuahua.
- Anon, M. y Calvelo, A. 1980. Freezing rate effects on the drip loss of frozen beef. Meat science. 4:1-14.
- AOA. American Ostrich Association, 1996. The better red meat. URL: http://homepage.midusa.net/~ostrich/ost_meat.htm
- AOAC, 1997. Official Methods of analysis. 16th ed. 3rd revision. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, V.A.

- Arteaga, G., Li-Chan, E., Nakai, S., Cofrades, S. y Jimenez-Colmenero, 1993. Ingredient interaction effects on protein functionality: mixture design approach. *J. Food Sci.* 58(3):656.
- Asghar, A., Morita, J., Samejima, K., y Yasui, T. 1984. Biochemical and functional characteristics of myosin from red and white muscle of chicken as influenced by nutritional stress. *Agric. Biol. Chem.* 48:2217.
- AZ Ostrich Company, Inc. Copyright © 2001. Dayton, Ohio, USA. URL: <http://www.azostrich.com>.
- Badui, S. 1990. Química de los alimentos. 2da. Edición. Ed. Alhambra Mexicana. México, D.F.
- Barbut, S. 1995. Importance of fat emulsification and protein matrix characteristics in meat batter stability. *J. Muscle Foods.* 6:161.
- Barbut, S. y Mittal, S. 1990. Influence of the freezing rate on the rheological and gelation properties of dark poultry meat. *Poultry Sci.* 69:827-832.
- Bertram, C. y Brian, R. 1992. The ostrich communal nesting system. Princeton University Press. New Jersey.
- Bevilacqua, A., Zaritzky, N., Calvelo, A. 1979. Histological measurements of ice in frozen beef. *Journal of Food Technology.* 14:273-251.
- Bio-Rad Laboratories/PC. 1997. Multi-Analyst® Versión 1.1. California, EUA.
- Bögler, O. 1997. Classification of muscle: Skeletal muscle. In: *Histology of Muscle*. Disponible en URL: <http://Views.vcu.edu/ana/bogler.htm>
- Boles, J.A. y Swan, J.E., 1996. Effect of post-slaughter processing and freezing on the functionality of hot-boned meat from young bull. *Meat Science.* 44:11

- Bourgeois, M. y Le Roux, P. 1986. Proteínas animales. Tr. Dr. Agustín López Munguía. Ed. El manual moderno, S.A. de C.V. México, D.F.
- Bourne, M. 1982. Food texture and viscosity: Concept and Measurement. Academic Press. New York, USA.
- Brennan, J., Butters, J., Cowell, N. y Lilly, A. 1980. Las operaciones de la ingeniería de los alimentos. 2da. ed. Ed. ACRIBIA. Zaragoza, España.
- Broakye, K., Mittal, G. 1993. Changes in pH and water holding properties of *Longissimus dorsi* muscle during beef ageing. *Meat Science*. 34:207.
- Buchmüller, J. 1989. Congelador rápido Cryogen para la industria procesadora de la carne. *Fleischwirtsch. Español*. 2:58.
- Burke, R., Levine, D., Salcman, M. y Tsairis, P. 1973. Motor units in cat soleus muscle: Physiological, histochemical and morphological characteristics. *J. Physiol*. 234:723.
- Calvelo, A. 1981. Recent studies on meat freezing. En *Developments in meat science – 2*, de Ralston Lawrie. Ed. Applied Science Publishers. EUA Cap. 5. p 125.
- Camou, J. y Sebranek, J. 1991. Gelation characteristics of muscle protein from pale, soft, exudative (PSE) pork. *Meat Sci*. 30:207
- Camou, J., Sebranek, J. y Olson, D. 1989. Effect of heating rate and protein concentration on gel strength and water loss of muscle protein gels. *J. Food Sci*. 54(4):850.
- Collin, D. 1977. La carne y el frío: Producción, transformación y comercialización. Ed. PARANINFO. Madrid, España.

- Damodaran, S. 1994. Structure-Function relationship of Proteins. Ch 1. In Protein Functionality in food systems. Hettiarachchy, N. y Ziegler, G. Ed. Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
- De la Masa, B. 1996. Fundamentos de la crianza de avestruces: Bases y aplicaciones prácticas. Ed. Ambel.
- Desrosier, N. 1997. Elementos de tecnología de alimentos. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México.
- Desrosier, N. y Tressler, D. 1977. Fundamentals of Food Freezing. Ed. AVI PUBLISHING COMPANY, INC. Westport, Connecticut, USA.
- Erickson, M. y Hung, Y. 1997. Quality in frozen food. Ed. Chapman & Hall. New York, EUA. p 22.
- Farouk, M. y Swam, J. 1998. Effect of the muscle condition before condition freezing and simulated chemical change during frozen storage on protein functionality in beef. Meat Science. 50(2)235-243.
- Fellows, P. 1994. Tecnología del procesado de alimentos: Principios y prácticas. Ed. ACRIBIA. Zaragoza, España.
- Fennema, Q. 1982. Introducción a la ciencia de los alimentos. Ed. Reverté. Barcelona, España. p. 674-676.
- FIRA. 1997. La producción del avestruz. Fideicomisos Instituidos en relación con la agricultura. Boletín informativo. Revistas pecuarias S. A. de C. V.
- Flores, J. y Bernell, S. 1984. Propiedades funcionales de las proteínas miofibrilares: Capacidad de retención de agua. Rev. Agroquim. Technol. Aliment. 24(2):151.

- Foegeding, E.A. y Liu, M.N. 1995. Functional differences of myofibrillar proteins from fast and slow twitch muscles. *J. Muscle Foods*. 6:109.
- Forrest, J., Aberle, E., Hedrick, H., Judge, M y Merkel, R. 1979. *Fundamentos de Ciencias de la Carne*. Ed. ACRIBIA, S.A. Zaragoza, España.
- Francis, F. 1975. The origin of $\tan^{-1} (a/b)$. *J. food Sci.* Vol. 40:412
- Galaviz, F. Desarrollo y optimización de formulación de salchicha de avestruz. Tesis de Licenciatura. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora. 2000.
- Garza, C. 1997. Valor nutritivo y comercialización en memorias del segundo seminario internacional sobre sistemas de producción para avestruz y Emu. Universidad Autónoma de Nuevo León. p. 19-25.
- Girard, J. 1993. *Tecnología de la Carne y de los Productos Cárnicos*. Ed. ACRIBIA, S.A. Zaragoza, España.
- González-Méndez, N. F., Gros J. B., Poma J. P. y Ramos E., 1985. Influencia de la congelación sobre la difusión de cloruro sódico en el músculo *Longissimus dorsi* del puerco. *Revista de agroquímica y tecnología de alimentos*. Vol.25 No. 2. Valencia, España. p. 279.
- Gordon, G., Murray, A. 1991. Freezing effects on quality, bacteriology and retail-case life of pork. *J. of Food Sci.* 56(4) 891-894.
- Gornall, A., Bardawill, C. Y David, M. 1949. Determination of serum proteins by means of the biuret reaction. *J. Biol. Chem.* 177:751.
- Gruda, Z. y Postolski, J. 1990. *Tecnología de la congelación de los alimentos*. Ed. ACRIBIA, S.A. Zaragoza, España.
- Harris, p. y Shorthse, W. 1988. Meat texture. En *Developments in meat science-4*. Ed. Lawrie, R. Elsevier Applied Sci. Publisher, Barking Essex. p 245.

- Harris, S. y cols. 1994. Ostrich meat industry development, final report to American Ostrich Association from Texas Agricultural Extension Service, meat and Food Science sections, Department of Animal Science, Texas A&M University System College Station, Tx.
- Hedrick, H., Aberle, J. Forrest, M. 1993. Principles of meat science. Third edition. Kendall/Hunt Publishing Co., Iowa.
- Hettiarachchy, N. y Ziegler, G. 1994. Protein Functionality in food systems. Edited by Institute of Food Technologists. Ed. Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
- Hultin, H.O., Feng, Y. y Stanley, D.W. 1995. A re-examination of muscle protein solubility. J. Muscle Foods. 6:91.
- Ishiorishi ,M., Samejima, K., Yasui, T. 1979. Heat-induced gelation of myosin: Factor of pH and salt concentrations. J. Food. Sci. 44:1280.
- Jaarsveld, F., Naudé, R. y Olelofsen, W. 1997. Effect of chemical physical drying parameters on cathepsins B,H and L from ostrich muscle. Meat Science. Vol. 450 No. 2, 223-233.
- Jasper, W. y Placzek, R. 1978. Conservación de la carne por el frío. Ed. ACRIBIA, S.A. Zaragoza, España.
- Jeremiah, L. 1996. Freezing effects on food quality. Ed. Marcel Dekker, Inc. New York, EUA. p 72.
- Jiménez-Colmenero, F., Tejada, M. y Borderías, A. 1988. Effect of seasonal variations of proteins functional properties of fish during frozen storage. J. Food Biochem. 12:131.
- Jiménez, M I y II. Copyright © 1999-2003. Última actualización: 1 de enero del 2003. México. URL: <http://www.Damisela.com>

- Jones, K. W. y Mandingo, R. W. 1982. Effects of chopping temperature of the microstructure of meat emulsions. *J. Food Sci.* 47:1930.
- Jones, S., Jeremiah, L., Robertson, W. Y Brereton, D. 1995. Evaluation of the carcass composition and meat quality of ostrich. *Meat focus Internationals*, 4-98.
- Judge, M., Aberle, J., Forrest, H., Merkel, R. 1989. Principles of meat science. Second edition. Kendall/Hunt Publishing Company. Dubuque, Iowa, USA.
- King, N. Y Macfarlane, J. 1987. Muscle proteins. En: *Advance in Meat Research*. Editores: Pearson and Dutton. USA. 3:21-72.
- Kinsella, J. 1976. Functional properties of protein food. *CRC Crit. Rev. Food. Sci. Nutr.* 7:219.
- Kinsella, J., Damodaran, S. y German, J. 1985. Physicochemical and functional properties of oilseed proteins with emphasis on soy proteins. En *New York Foods: Seed storage proteins*, A.M. Altschul, y H.L. Wilcke. Academic Press, New York, p 108.
- Koohmarale, M., Shackelford, S. y Wheeler, T. 1998. Effect of prerigor freezing and postrigor calcium Chloride injection on the tenderness of Callipyge Longissimus. *J. Animal Sci.* 76:1427-1432.
- Kumosinski, T.F y Farrell, H.M. 1994. Solubility of proteins: Proteins-salt-water interactions. Ch. 2. In: *Protein Functionality in foods systems*. N.S. Hettiarachchy and G.R. Ziegler. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Laemmli, U. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature.* 227.

- Lan, Y., Novakofski, J., McCusker, R., Brewer, M., Carr, T., McKeith, F. 1995. Thermal gelation properties of protein fractions from pork and chicken breast muscles. *J. Food Sci.* 60(4):742.
- Lawrie, R. 1998. *Meat science*. Sixth edition. Published by Woodhead Publishing Limited Abington Hall, Abington, England.
- Lezama, G. 1997. La industria de avestruz llega a México y a Sonora. En *comercio exterior sonoreño*. No. 71.
- Little, A. 1975. Off on tangent. *J. Food Sci.* Vol. 40:410.
- Li-Chang, E., Kakai, S. y Wood, D. 1985. Relation between functional (fat binding, emulsifying) and physicochemical properties of muscle proteins. Effects of heating, freezing, pH and species. *J. Food Sci.* 50:1034.
- Margossian, S. y Lowey, S. 1982. Preparation of myosin and its sub fragments from rabbit skeletal muscle. *Meth Enzymol.* 85:55.
- Margossian, S.S., Stanford, W.F., y Lowey, S. 1981. Homogeneity of myosin sub fragments by equilibrium centrifugation. *Biochemistry* 20:2151-2155.
- Marino, J. 2001. Nor-Mar Ostrich Farm. URL: <http://www.Normar.com> DeNoon Road, Caledonia, New York.
- Marino, R. 2001. Nor-Mar Ostrich Farm. 2804 DeNoon Road. Caledonia, New York, USA. URL: <http://www.normar.com/normar.htm>
- Mafart, P. 1994. *Ingeniería Industrial Alimentaria. Volumen I: Procesos físicos de conservación*. Ed. ACRIBIA, S.A. Zaragoza, España.

- McLelland, M., Lind, L. Y Kime, R. 1995. Hue angle determinations and statistical analysis for multiquadrant Hunter L, a, b data. *J. of Food Quality*. Vol. 18:235-240.
- Mittal, G.S. y Barbut, S. 1991. Effects of Freezing rate and storage time on the structural properties of minced meat. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*. (24) p 226.
- Morris, y cols., 1995. Ostrich slaughter and fabrication 2. Carcass weights, fabrications yields and muscle color evaluation. *Poultry Sci*. 74:1688-1692.
- Morita, J., Choe, I., Yamamoto, K. Samejima, K., y Yasui, T. 1987. Heat-induced gelation of myosin from leg and breast muscle of chicken. *Agric Biol. Chem*. 51:2895.
- Multi-Analyst (Multi-Analyst®/PC, 1997).
- Nakai, Y., Nishimura, T., Shimizu, M. y Arai, S. 1995. Effects of freezing on the proteolysis of beef during storage at 4°C. *Biosc. Biotech. Biochem*. 59(12):2255.
- NCSS. 1997. Paquete estadístico. Versión 6.0.2.
- Nor-Mar Ostrich Farm. 2001. DeNoon Road 2804. Caledonia, New York. USA.
URL: <http://www.normar.com/normar.htm>
- Ohene-Adjei, S., Ellis, M. y McKeith. 2002. Relationship of chilling rate and location within muscle on the quality of ham and lion muscles. *Journals of Muscle Foods*. 13:239.
- Otremba, M., Dikeman, M. y Boyle, E. 1999. Refrigerated shelf life of vacuum-packaged, previously frozen ostrich meat. *Meat Science*. 52:279.

- Paleari, M., Camisaca, S., Renon, P., Bertolo, P., y Crivelli, G. 1998. Osctrich meat: physico-chemical characteristics and comparison with turkey and bovine. *Meat Science*. 48:205.
- Park, J., Lanier, T., y Pilkington, D. 1993. Cryostabilization of functional properties of prerigor and postrigor beef by dextrose polymer and/or phosphates. *J. Food Sci.* 58:467.
- Pearce, K.N. y Kinsella, J.E. 1978. Emulsifying properties of proteins: Evaluation of a turbidimetric technique. *J. Agric. Food. Chem.* 26(3):716.
- Pearson, A. y Dutson, T., 1994. Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products. Ed. Blackie Academic & Professional. Vol. 9. p 316.
- Pearson, A. y Gillett, T., 1999. Processed meats. 3ra. edición. Ed. Aspen Publisher, Inc. Gaithersburg, Maryland, USA. p 39.
- Pearson, M. y Young, R. 1989. Muscle and meat biochemistry. Ed. Academic Press, Inc. San Diego, Ca. USA.
- Pedrosa, C., Trisciuzzi, C. and Ferreira, S.T. 1997. Effects of the glycosylation in functional properties of vicilin, the 7S storage globulin from Pea (*Pisum sativum*). *J. Agric. Food Chem.* 45:2025-2030.
- Pérez, M. 1998. Efecto de la calpainas sobre las propiedades fisicoquímicas, ultra estructurales y sensoriales de carne roja. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Ixtapalapa, México, D. F.
- Petrovic, L., Grujic, R. y Petrovic, M. 1993. Definition of the optical freezing rate-2. Investigation of the physico-chemical properties of beef *M. longissimus dorsi* frozen at different freezing rates. *Meat Science* 33:319.
- Phillips, L., Whitehead, D. y Kinsella, J. 1994. Structure-function properties of food proteins. Ed. Academic Press, Inc. San Diego, Ca. USA.

- Potter, N. 1997. La ciencia de los alimentos. Ed. HARLA. México. p 222.
- Preston, T.R. y Willis, M.B., 1983. Producción intensiva de carne. Ed. Diana, México. p 94.
- Price, J. y Schweigert. 1987. The Science of meat and meat products. Third edition. Ed. Food & Nutrition Press, Inc. USA.
- Rancho Texcale S.A. de C.V. Ex Hacienda Monteflaco s/n Jonacatepec, Morelos 62930 Tel/fax: 75350343. Última actualización: 2001. URL: <http://www.michoacan.com.mx/texcale/>.
- Rahelic, S., Gawwad, A. y Pouac, S. 1985. Structure of beef *longissimus dorsi* muscle frozen at various temperatures. Part 2: Ultra structure of muscle frozen at -10, -20, -30, -78 y -115°C. Meat Sci. 14:73.
- Rancho Oro Negro: Cría de avestruces. Última actualización: 2002. URL: <http://www.Oronegro.com.mx>
- Ranken, M.D. 1984. Composition of meat: Some structural and analytical implications. En: Developed in food proteins-3. Editor: Hudson, B.J.F. Elsevier Applied Sci. Publishers. New York. p.1.
- Ranken, M.D. 1993. Manual de industrias de los alimentos. 2da. ed. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- Redmond, G.A., McGeehin, B., y Sheridan, J.J. 2000. Ultra-rapid chilling rate effects on the appearance of lamb carcasses and tenderness of lamb chops. J. of Muscle Foods. 11:69.
- Ross, M.H. Reith, E.J y Romrell, L.J. 1992. Técnica histológica y microscopía. En: Histología. ed.2da. Ed. Médica Panamericana. Buenos Aires, Argentina. p 17.

- Sales, J. 1996. Histological, biophysical, physical and chemical characteristics of different ostrich muscles. *J. Sci. Food Agric.* 70:109.
- Sales, J. y Mellet, F.D. 1996. Post-mortem pH decline in different ostrich muscles. *Meat Sci.* 2(2):235-238.
- Sharp, A. y Offer, G. 1992. The mechanics of formation of gels from myosin molecules. *J. Sci. Food Agric.* 53:1076.
- Sheldon, B., Curtis, P., Dawson, P. y Ferket, P. 1997. Effect dietary vitamin E on the oxidative stability, flavor, color and volatile profiles of refrigerated and frozen turkey breast meat. *Poultry Sci.* 76:634-64.
- Smith, D., 1987. Functional and biochemical changes in deboned turkey due to frozen storage and lipid oxidation. *J. Food Sci.* 52:22.
- Stryer, L. 1990. Contracción muscular y motilidad celular. Cap. 36. En *Bioquímica*. Tomo II. 3ra. ed. Ed. Reverté, S.A. Barcelona.
- Swart, D., Srebrits, F. y Hayer, J. 1993. Utilization of metabolizable energy by astrich chicks at two different concentrations of dietary energy and crude fiber originating from of dietary for lucerme. *S. Afri. J. animal Sci.* 23: 136-141.
- Swatland, H.J. 1984. The structure and properties of meat. En: *Structure and development of meat animals*. Prentice Hall, Inc. USA
- Syvorý, I. 1987. Isoforms of contractile proteins. *Prog. Biophys. Molec. Biol.* 49:1-27.
- Thumel, H. y Gamm, D. 1995. Producto congelado suelto. *Fleischwirtsch. Español.* 1:15.

- Tressler, D., Van Arsdell, W. and Copley, M. 1978. The Freezing Preservation of Foods. Volumes: 2 and 3. Ed. AVI PUBLISHING COMPANY, INC. Westport, Connecticut, USA.
- Van Moeseke, W., De Smet, S., Claeys, E., y Demeyer, D. 2001. Very fast chilling on beef : effects on meat quality. *Meat Science* 59. p 31.
- Wagner, J. y Añon, M. 1985. Effect of freezing rate on the denaturation of myofibrillar proteins. *J. of Food Technology*. Vol.20 6:735.
- Yamamoto, K., Samejima, K., y Yasui, T. 1988. Heat-induced gelation of myosin filaments. *Agric. Biol. Chem.* 52:1803.
- Yang, T.S. y Froning, G.W. 1992. Effects of pH and mixing time on protein solubility during the washing of mechanically deboned chicken meat. *J. Muscle Foods*. 3:15.
- Xiong, Y.L. 1994. Thermally induce interactions and gelation of combined myofibrillar protein from white an red broiler muscles. *J. Food :sci.* 57:587.
- Xiong, Y.L. y Blanchard, S.P. 1992. Concentration-depend thermal aggregation of muscle salt soluble protein. *Lebesm. Wiss. Technology*, 25:544.
- Xiong, Y.L., Ho,C. y Shahidi, F. 1999. Quality attributes of muscle foods. Ed. Kluwer Academic/Plenum Publishers. NY, EUA.
- Ziegler, G., Acton, J. 1984. Mechanism of gel formation by proteins of muscle tissue. *Food Technology*. 5:77-82.

ANEXOS

Anexo 1. Correlación de Pearson (Pair-Wise Deletion) para los Parámetros de Calidad de Carne de Avestruz Sometida a los Diferentes Ciclos de Congelación-Descongelación.

Variables							
	PAC	pH	L	A	b	Matiz	EC
PAC		0.8446**	0.8745**	0.8010**	0.7863**	0.4884**	0.8300**
pH			0.7333**	0.6219**	0.8287**	0.7279**	0.7831**
L				0.9277**	0.8904**	0.5214**	0.9563**
a					0.8018**	0.3097**	0.8884**
b						0.8159**	0.9357**
Matiz							0.6303**
EC							

*= (P<0.05)

**= (P<0.001)

PAC: Pérdida de Agua en Carne (%).

pH: Potencial de Hidrógeno (m²/g).

EC: Esfuerzo al Corte (Kgf).

