

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DE LA ADMINISTRACIÓN ORAL DE CALCIO Y
EL TIEMPO DE MADURACIÓN SOBRE LA CALIDAD INSTRUMENTAL
DE LA CARNE DE CORDERO**

por

**José Carlos MARICHAL PIÑEIRO
Juan Pablo ORTEGA SELLERA**

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2009**

Tesis aprobada por

Director: -----
Ing. Agr. Ph. D. Gianni Bianchi Olascoaga

Dr. M. Sc. Juan Bosco Franco Scognamiglio

Ing. Agr. Gustavo Garibotto Carton

Fecha: 23 de diciembre de 2009

Autores: -----
José Carlos Marichal Piñeiro

Juan Pablo Ortega Sellera

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a todos los que hicieron posible este trabajo.

Muy especialmente al Laboratorio Biotay por facilitar los materiales, al Frigorífico FRICASA por permitirnos utilizar sus instalaciones y al personal de la planta que nos asistió durante el trabajo allí realizado.

A los Doctores Blanc y Feed que nos asistieron durante la dosificación de los animales y las tareas en el frigorífico (respectivamente).

A los Ingenieros Agrónomos: Ballesteros (recolección de muestras y procesamiento), Gestido (recolección de muestras y datos), y Bentancur (análisis estadístico).

A la los estudiantes de Veterinaria que participaron durante la dosificación de los animales, que utilizaron esta instancia como actividad práctica. Al estudiante de Agronomía Bach, Motta y a la Ingeniera Agronomía Bemhaja por su ayuda para conseguir artículos internacionales.

A los funcionarios de Universidad de la República; personal de Campo de la Estación Experimental; a los funcionarios de Biblioteca de Facultad de Agronomía (Montevideo y Paysandú) y de Facultad de Veterinaria.

Por último y más importante de todo, queremos agradecer a nuestras familias que sin su apoyo no nos hubiera sido posible llegar a este lugar.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. <u>EL SECTOR CÁRNICO EN EL RUGUAY</u>	3
2.1.1. <u>El Uruguay: país ganadero</u>	3
2.1.2. <u>Producción ganadera</u>	5
2.1.2.1. <u>Los productores ganaderos</u>	5
2.1.2.2. <u>Rodeo ganadero</u>	7
2.1.3. <u>Industria frigorífica</u>	11
2.1.3.1. <u>Características de los frigoríficos</u>	11
2.1.3.2. <u>La faena en el Uruguay</u>	13
2.1.4. <u>Comercio de carnes</u>	15
2.1.4.1. <u>El mercado interno</u>	15
2.1.4.2. <u>Las exportaciones de carne</u>	17
2.1.5. <u>Síntesis</u>	23
2.2. <u>CALIDAD DE LA CARNE</u>	24
2.2.1. <u>La carne</u>	24
2.2.2. <u>La calidad de carne</u>	24
2.2.3. <u>Principales atributos para el consumidor</u>	26
2.3. <u>LA TERNEZA DE LA CARNE</u>	29
2.3.1. <u>¿Por qué la investigación en terneza?</u>	29
2.3.2. <u>Medición de la terneza de la carne</u>	30
2.3.3. <u>Mecanismos de acción involucrados</u>	31
2.3.4. <u>El Sistema Enzimático Calpaínico</u>	33
2.3.4.1. <u>Descripción</u>	33
2.3.4.2. <u>Estructura de las calpaínas</u>	33
2.3.4.3. <u>Rol de las calpaínas y calpastatina</u>	35
2.3.4.4. <u>Calpaínas y la proteólisis</u>	37
2.3.4.5. <u>Calpaínas y su autólisis</u>	40
2.3.4.6. <u>Efecto de la temperatura</u>	42
2.3.4.7. <u>Efecto del pH</u>	43
2.3.4.8. <u>Efecto del Calcio</u>	43
2.3.5. <u>Factores que afectan la terneza</u>	48
2.3.5.1. <u>Clasificación</u>	48

2.3.5.2. Factores ante-mortem.....	49
2.3.5.3. Factores post-mortem.....	49
2.3.6. <u>Maduración de la carne</u>	49
2.3.7. <u>Tecnologías que involucran el Calcio</u>	65
2.3.7.1. Inyección de Calcio o Lactato de Calcio.....	65
2.3.7.2. Suplementación con Vitamina D ₃ y metabolitos.....	88
2.3.7.3. Calcio oral.....	107
2.3.8. <u>Algunos comentarios sobre las diferentes tecnologías que involucran Calcio</u>	115
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	117
3.1. LOCALIZACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL.....	117
3.2. ANIMALES.....	117
3.3. MANEJO DE LOS ANIMALES, TRATAMIENTOS Y MEDICIONES EN LOS ANIMALES.....	117
3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	119
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	120
4.1. ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y DE LA CARNE.....	120
4.2. EFECTO DE LA MADURACIÓN SOBRE LA TERNEZA INSTRUMENTAL DE LA CARNE.....	122
4.3. EFECTO DEL GEL DE CALCIO EN LA TERNEZA INSTRUMENTAL DE LA CARNE.....	124
5. <u>CONCLUSIONES</u>	128
6. <u>RESUMEN</u>	129
7. <u>SUMMARY</u>	131
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	132
9. <u>ANEXOS</u>	153

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.		Página
1.	Ganado y superficie de explotaciones con vacunos de carne y ovinos, según tamaño de la explotación (valores absolutos número y porcentajes).....	5
2.	Carácter comercial de las explotaciones con vacunos de carne y ovinos, y fuente del ingreso principal (porcentaje de las explotaciones)*	6
3.	Porcentaje de carne vacuna exportada en U\$S (importe FOB), según principal destino para el año 2007.....	21
4.	Porcentaje de carne ovina exportada en U\$S (importe FOB), según principal destino para el año 2007 y el precio percibido por kilogramo carcasa en cada destino.....	22
5.	Resumen de resultados experimentales que estudiaron el efecto de la maduración sobre la calidad de carne vacuna.....	52
6.	Resumen de resultados experimentales que estudiaron el efecto de la maduración sobre la calidad de carne ovina.....	60
7.	Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de Calcio sobre la terneza de la carne bovina a lo largo de la maduración.....	67
8.	Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de Calcio sobre la terneza de la carne ovina a lo largo de la maduración.....	80

9.	Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la suplementación con Vitamina D ₃ sobre la calidad de la carne vacuna.....	89
10.	Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la suplementación con Vitamina D ₃ sobre la calidad de la carne ovina.....	99
11.	Principales resultados de experimentos que estudiaron el efecto de la administración oral de Calcio, sobre la concentración de este elemento en la sangre y/o el desempeño de vacunos.	109
12.	Principales resultados de experimentos que estudiaron el efecto de la administración oral de Calcio sobre la concentración de este elemento en la sangre y/o el desempeño de ovinos.	113
13.	Características de la canal y de la carne, en función del agregado de Calcio. Medias y error estándar.	120
14.	Pérdidas por cocción en muestras de carne de corderos dosificados o no con gel de Calcio, a lo largo de la maduración.	122

Figura No.

1.	Evolución del PBI total (millones de U\$S corrientes), el porcentaje del PBI Agroindustrial, del PBI Agropecuario y del PBI de las Agroindustrias en el Uruguay para el período 2000-2007.....	4
2.	Evolución en el número de cabezas ovinas y vacunas en el Uruguay en el período: 2000-2007.....	7

3.	Evolución del stock vacuno en el Uruguay en el período 2000-2007.....	9
4.	Evolución del stock ovino en el Uruguay en el período 2000-2007.....	10
5.	Diagrama de un complejo cárnico, con sección de despiece, deshuesado, envasado y almacenamiento.....	13
6.	Evolución de la faena de vacunos (número de cabezas) en el Uruguay en el período 2000-2007.....	14
7.	Evolución de la faena de ovinos (número de cabezas) en el Uruguay en el período 2000-2007.....	15
8.	Participación de diferentes carnes (bovinas, ovinas y porcinas), en el mercado interno para el año 2007, sin incluir la carne importada.....	16
9.	Evolución del porcentaje en dólares americanos, de las exportaciones del Uruguay de origen no agropecuario, agropecuario sin incluir a la ganadería, y exportaciones ganaderas, para el período 2000-2007.....	17
10.	Evolución del porcentaje (en dólares americanos), de las exportaciones del Uruguay ganaderas, de carne bovina y ovina, bovinos y ovinos en pie, cueros y lana en el período 2000-2007 (en base 100).....	18
11.	Evolución de carne vacuna y ovina exportada del Uruguay en el período 2000-2007 (en dólares americanos y en toneladas, peso canal).....	19

12.	Evolución de la diferencia (en dólares americanos y para el período 2000-2007), entre un kilo exportado de peso canal ovinos versus bovino.	20
13.	Percepción (en términos relativos) de la importancia de diferentes atributos sensoriales de la carne por parte de consumidores de supermercados.....	27
14.	Representación esquemática de la hoja de corte de Warner-Bratzler.....	31
15.	Diagrama de la arquitectura de la μ - y m-calpaína en humanos.....	34
16.	Ablandamiento del músculo Longissimus dorsi, por acción de las calpaínas y la relación con su actividad durante la maduración post-mórtem.....	38
17.	Cambios en la actividad de la μ -calpaína, m-calpaína y calpastatina durante la maduración.....	39
18.	Bandas de electroforesis de la degradación de la μ - y m-calpaína del músculo Longissimus lumborum de corderos durante diferentes períodos de maduración (0, 3, 6, 9, 12, 24, 72 y 360 horas).	41
19.	Efecto de la concentración de Calcio sobre la cantidad de proteína solubilizada en el músculo.	44
20.	Cambio en la concentración de calcio libre durante la maduración post-mórtem de carne vacuna (novillos Japanese Blacky, de 30 meses de edad).	45
21.	Esquema del proceso bioquímico que involucra a las calpaínas en el aumento de la terniza de la carne post-mórtem.	47

22.	Cambios en la fuerza de corte (Warner-Bratzler) del músculo <i>Longissimus dorsi</i> de corderos durante la maduración.	50
23.	Inyector comercial de Cloruro de Calcio.	66
24.	Microscopía electrónica del músculo <i>Longissimus dorsi</i> de novillos no suplementados con Vitamina D ₃ (a) ó suplementados con vitamina D ₃ por 8 días (b).	104
25.	Dosificación de los corderos experimentales con gel de Calcio.	118
26.	Efecto de la maduración sobre la terneza instrumental de la carne conservada 1, 8 ó 16 días.....	123
27.	Efecto del agregado de gel de Calcio sobre la terneza instrumental de la carne de cordero a lo largo de la maduración.....	125

1. INTRODUCCIÓN

En el Uruguay la producción de lana ha sido históricamente la principal fuente de ingreso para el rubro ovino. Esto ha provocado que tanto las razas que se encuentran presentes en el rodeo y la investigación nacional, tuvieran un mayor énfasis en la producción y calidad de la lana; considerando a la carne como un subproducto.

Debido a la crisis de los sistemas laneros, a partir de 1990 comenzó un proceso de liquidación del stock ovino en todo el mundo, del cual el Uruguay no fue ajeno. Como forma de paliar las dificultades económicas debido a la disminución de los precios de la lana, la producción de carne ovina se abrió camino en sistemas que históricamente fueron productores de lanas, a sistemas doble propósito; y en algunos establecimientos, a sistemas en que la carne ovina toma el primer lugar como fuente de ingreso.

Muchos predios familiares de pequeña superficie pueden encontrar en este rubro - relativamente nuevo en el Uruguay - la manera de mantenerse en la producción agropecuaria, disminuyendo la expulsión de las familias del medio rural.

Por estas razones se hace necesario lograr un aumento de la actividad del rubro cárnico ovino, que necesita, previamente, del “apoyo” de la investigación local, tanto en aspectos productivos, como de calidad del producto, buscando la forma de mejorar a esta alternativa productiva, volviéndola cada vez más viable y rentable para el país.

La investigación a nivel nacional es relativamente reciente en lo que a calidad de la carne se refiere (tanto ovina como bovina). La misma ha tenido mayor énfasis en trabajos de maduración de la carne como una tecnología que incrementa la calidad de la misma. Por lo tanto, este trabajo sigue la línea de investigación que se viene dando dentro de Facultad de Agronomía respecto a la calidad de la carne; generando tecnologías que incrementan la calidad del producto.

La maduración de la carne es una técnica que se basa en mantener la carne refrigerada a una temperatura cercana a 4° C por diferentes tiempos de almacenaje (Warriss, 2003). Según Bianchi (2005a), en una revisión sobre el tema del efecto de la maduración de la carne sobre la calidad instrumental y sensorial de rumiantes, determinó que estas se ven incrementadas en forma significativa a medida que se incrementa el período de maduración.

La dosificación con gel de Calcio es una técnica habitual en el manejo del rodeo lechero, como medida preventiva o curativa frente a la hipocalcemia, que se agudiza y manifiesta en los momentos en torno al parto; permitiendo incrementar los niveles de calcio en sangre. También se ha descrito esta técnica como una posible vía de aumentar los niveles de Calcio en músculo, activando las enzimas Calcio dependientes, que permitirían disminuir el período de maduración de la carne (disminuyendo el período en cámara).

Partiendo de esta técnica Duckett et al. (1999a), dosificaron novillos para determinar la respuesta en Calcio en sangre mediante dosificación oral, para ello retiraron sangre de la vena yugular en diferentes períodos post-dosificación y como resultado principal observaron un incremento del Calcio en sangre. Continuando esta línea Duckett et al. (1998, 2001), trabajando también con novillos, encontraron una reducción en el período de maduración de la carne.

Debido a esto se desarrollo un experimento, con el objetivo de determinar el efecto de la dosificación de gel de Calcio y su interacción con la maduración en la carne de corderos pesados, como forma de validar esta técnica a nivel nacional y dejar un antecedente para su utilización. Esta tecnología que podría asegurar la calidad organoléptica de la carne, - de esta forma - la industria podría conseguir un producto homogéneo para su comercialización, en determinados nichos de mercado, asegurándole al productor la colocación de su producto, y alcanzando precios diferenciales, mejorando la articulación de la cadena cárnica del Uruguay y la satisfacción del consumidor.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Esta sección se divide en cinco apartados. El primero enmarca cuál es la situación de la cadena cárnica en el Uruguay mediante una caracterización general de la importancia de la ganadería a nivel del Producto Bruto Interno; descripción de los productores ganaderos y los frigoríficos, y la comercialización de la carne en el mercado interno y externo. El análisis se realiza hasta el año 2007 (ejercicio 1 julio 2007 – 31 junio 2008), porque a mediados del 2008 se declara el inicio de la crisis financiera de EE.UU. la cual repercutió en todos los escenarios, amenazando con una recesión mundial. En el segundo apartado se definen cuáles son las características más deseadas por el consumidor al momento de decidir la compra de carne, señalando - en un tercer apartado - la importancia de la ternera de la carne. En el cuarto apartado se realiza una revisión de cuáles son los efectos del calcio sobre dicha característica, además se revisan los métodos propuestos para mejorar la ternera - con particular énfasis en experimentos que hayan estudiado el efecto del suministro de calcio en la ternera instrumental, y sensorial de la carne -. Y por último en el quinto apartado se realizan algunos comentarios sobre estos métodos.

2.1. EL SECTOR CÁRNICO EN EL URUGUAY

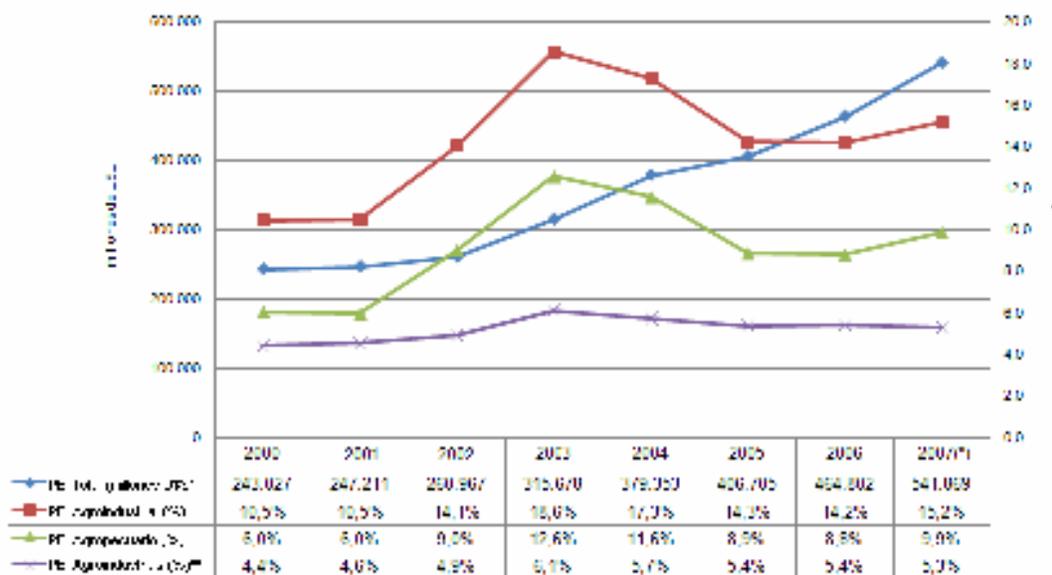
2.1.1. El Uruguay: país ganadero

El Uruguay es un país con una superficie aproximada de 18 millones de hectáreas; de las cuales 14,5 millones de hectáreas son utilizadas como superficie pastoril; el 85% de las mismas corresponden a pasturas naturales y el resto a mejoramientos de campos o pasturas sembradas (Bianchi, 2005a, 2007).

El país tiene las condiciones óptimas para producir carne bovina y ovina de calidad, ocupando el tercer lugar en el ranking mundial de países con menor contaminación ambiental, con sistemas de producción basados en el consumo de pasturas (Montossi et al., 2008); estos sistemas de producción pastoril son mixtos (bovinos y ovinos), extensivos, de cría a cielo abierto todo el año, sin uso de hormonas (Bianchi, 2005b, 2007) y con una buena condición sanitaria (Bianchi 2005a, 2007, Montossi et al. 2008).

El parque industrial de procesamiento de carnes con que cuenta el Uruguay, cumple con los mayores requisitos higiénico-sanitarios que demandan los países más exigentes, permitiéndole al Uruguay acceder a más de 50 mercados de exportación, con la consiguiente generación de fuentes de trabajo y divisas para el país (Montossi et al., 2008).

En la figura 1 se presenta la evolución del Producto Bruto Interno (PBI) del Uruguay en los últimos años. Se observa que éste ha tenido un crecimiento sostenido en dólares americanos corrientes (U\$S). En la composición del PBI, las actividades de la producción agropecuaria y el valor agregado por las agroindustrias han tenido un papel muy importante. El sector agroindustrial, o sea el sector agropecuario, más las agroindustrias, han representado - en promedio - un 14,3 % del PBI total del Uruguay, en una serie de años que abarca desde el 2000 al 2007.



(*): Corresponde a la suma del PBI agropecuario y de algunas industrias seleccionadas; (**): Incluye las industrias de alimentos, fabricación y lavado de tops, madera (excepto muebles) y curtiembres.

Figura 1. Evolución del PBI Total (millones de U\$S corrientes), el porcentaje del PBI Agroindustrial, del PBI Agropecuario y del PBI de las Agroindustrias en el Uruguay para el período 2000-2007.

Fuente: URUGUAY. MGAP. DIEA (2008)

En el 2002 el sector agropecuario fue el único sector que tuvo un crecimiento positivo (+ 6,7 %) cuando la economía en conjunto había caído 11 % (Secco, 2004). Dentro del PBI agroindustrial, la carne vacuna ha ocupado un lugar relevante (Chouy, 2002).

La producción ganadera tiene una larga tradición en la historia del país aportando componentes fundamentales de la dieta nacional y de la materia

prima para la industria cárnica, textil y del cuero, contribuyendo de forma destacada a las exportaciones (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2003a); además de la movilización de recursos humanos y el volumen de su aporte a las finanzas públicas (Chouy, 2003).

2.1.2. Producción ganadera

2.1.2.1. Productores ganaderos

El número de las explotaciones cuyo principal ingreso proviene de la producción de vacunos y ovinos en el Uruguay es de 32.300 explotaciones, que constituyen el 57 % del total censado (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2000) y emplean cerca de 83.000 trabajadores permanentes o sea 53 % del total de trabajadores del sector agropecuario (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2003a). Independientemente del rubro cabe señalar que cuando se compara entre el Censo Agropecuario de 1956 y el del 1990, se observa una disminución importante del número de explotaciones agropecuarias (35.000 establecimientos), lo que significa una pérdida en torno a los 1000 productores por año, concentrándose ésta en los predios de menor superficie (Vassallo, 2002). Este fenómeno ha sido determinante en la tendencia a la emigración de la población rural a zonas urbanas: entre los Censos Agropecuarios de 1956 y de 1990, se registró una pérdida de 200.000 personas del medio rural (Vassallo, 2002).

Cuadro 1. Ganado y superficie de explotaciones con vacunos de carne y ovinos, según tamaño de la explotación (número y porcentajes).

	Explotaciones		Vacunos		Ovinos		Superficie total	
	No.	%	Miles de cabezas	%	Miles de cabezas	%	miles ha	%
Explotaciones < 20 ha	14.827	32	103	1	135	1	13	1
Explotaciones 20-100 ha	12.587	27	422	5	705	6	760	4
Explotaciones > 100 ha	19.446	41	8.862	94	12.060	93	14.929	95
Todas las explotaciones	46.859	100	9.387	100	12.900	100	15.702	100

Fuente: URUGUAY. MGAP. DIEA (2003a).

El total de las explotaciones que tenían ganado de carne y ovinos en el año 2000 según el Censo Agropecuario alcanzaba a 46.800 (82 % del total censado), con una superficie de 15,7 millones de hectáreas (96 % del total nacional). Aún excluyendo de ellas unas 15.000 pequeñas explotaciones con menos de 20 hectáreas (cuadro 1), que en general tienen un componente no comercial, se puede sostener que existe una fuerte coincidencia entre "agro nacional" y la "explotación ganadera" debido a la superficie que ocupan y a la elevada proporción del total de explotaciones agropecuarias (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2003a).

En el cuadro 2 se presenta el perfil comercial de las explotaciones ganaderas del país.

Cuadro 2. Carácter comercial de las explotaciones con vacunos de carne y ovinos, y fuente del ingreso principal (porcentaje de las explotaciones)*.

	No comercial (%)	Rubro principal			Total explotaciones (No.)
		Vacunos de carne	Ovinos	Vacunos de carne + ovinos	
Explotaciones < 20 ha	25	38	5	43	14350
Explotaciones 20-100 ha	1	69	14	83	10924
Explotaciones > 100 ha	0	84	10	94	17634
Total					42.908

(*): no se incluye lechería comercial.

Fuente: URUGUAY. MGAP. DIEA (2003a).

Del análisis de la información presentada en los cuadros 1 y 2, se desprende que existe un número muy importante de explotaciones con menos de 20 hectáreas, las cuales poseen vacunos u ovinos; de ellas, un 25 % no tiene fines comerciales, en tanto 43 % tienen a la ganadería como principal ingreso; estos pequeños predios disponen de solamente el 1 % del ganado vacuno nacional, de la majada del país y de la tierra vinculada a la ganadería (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2003a).

Al incrementarse el tamaño de explotación, aumenta la presencia de las dos especies como rubros de carácter comercial, lo que sugeriría que la

especialización en una sola especie, se reduce con la superficie (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2003a).

Respecto a la mano de obra utilizada en los establecimientos ganaderos se pueden realizar dos grandes grupos: el de los trabajadores no asalariados ó asalariados (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2003a). Los primeros están constituidos básicamente por el productor ganadero y sus familiares y fueron cuantificados por el Censo del 2000 en 44.000 personas (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2003a).

Los segundos se subdividen en: los trabajadores permanentes y temporarios de las explotaciones; de éstos, los primeros realizan ganadería en las explotaciones de manera comercial y totalizan más de 33.000; lo que representa el 60 % del total de los 56.000 trabajadores permanentes asalariados del sector agropecuario. Los profesionales y técnicos permanentes remunerados, son algo más de 1.000 y los operadores de maquinaria y tractoristas suman casi 3.000. Mientras que para los trabajadores temporarios, el Censo Agropecuario del 2000, contabilizó la utilización de cerca de medio millón de jornales (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2003a).

2.1.2.2. Rodeo ganadero

En la figura 2 se observa la evolución del número total de animales que componen el rodeo nacional tanto vacuno y ovino.

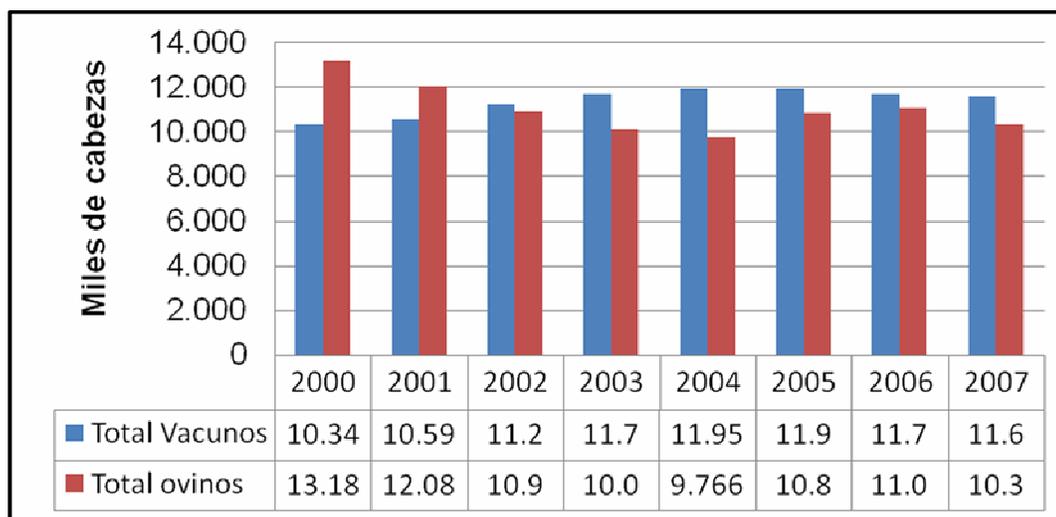


Figura 2. Evolución en el número de cabezas ovinas y vacunas en el Uruguay en el período: 2000-2007.

Fuente: URUGUAY. MGAP.DIEA (2003a).

El número de cabezas con el que cuenta el rodeo nacional ha tenido una situación inversa en lo que a evolución de cabezas vacunas y ovinas se refiere, tal como se muestra en la figura 2. Para el caso de los vacunos, éstos han aumentado en más de un millón de cabezas; mientras que los ovinos han seguido una tendencia a la baja que parecería revertirse en los últimos años (aunque la tendencia definitiva no parece todavía clara).

En la ganadería uruguaya generalmente se hace referencia a los ciclos ovinos-vacunos (Vassallo 1999, Grattarola y Casaretto 2007). Éstos son fluctuaciones del número de cabezas bovinas y ovinas en forma cíclica, de acuerdo a varias razones de índole internacional o nacional, lo que promueve - casi siempre - un replanteo de la relación lanar/vacuno para absorber diferencias de ingreso de acuerdo a la relación de precios de la carne vacuna respecto a la carne ovina y la lana (Cardellino 2007, Grattarola y Casaretto 2007). El máximo histórico de ovinos fue de algo más de 26 millones a comienzos del siglo XX, luego comenzó un período de descenso y ascenso alternado (Vassallo, 1999). La crisis lanera, en la que se desarrolló la producción ovina durante la década de los 90 tuvo importantes consecuencias en los sistemas laneros del mundo, provocando un proceso de liquidación de la población ovina (Bianchi 2005a, Chouy 2003, Bianchi 2007, Trifoglio 2007); de la cual - el Uruguay - no fue ajeno.

Ante esta situación coyuntural los productores ovejeros uruguayos buscaron rubros alternativos, tales como los granos, carne vacuna, forestación, entre otras (Trifoglio, 2007). En general, los sistemas de producción ovina en el mundo se han especializado; en un extremo, en la producción de carne ovina de corderos, donde la lana, normalmente gruesa y de bajo valor, es un subproducto de la producción de carne ovina (por ejemplo: Nueva Zelanda y Reino Unido); en el otro extremo, las producciones de Merino, normalmente en sistemas más extensivos, se han ido especializando en producir lanas más finas y de más calidad (Australia, partes de Argentina) o han virado a sistemas "doble propósito con producción de lana fina", como por ejemplo Sudáfrica y partes de Australia (Cardellino, 2007). También hubieron en el Uruguay productores que se mantuvieron dentro del rubro ovino, que se enfocaron en la producción de lana superfina o ultrafina; mientras otros han buscado captar los buenos precios de la carne ovina, mediante la utilización de razas doble propósito (carne y lana) o netamente carniceras (Trifoglio, 2007). En general, el precio de la lana ha sido un factor mucho más determinante del futuro del rubro que el de la carne ovina (Cardellino, 2007).

En el último año de la serie de la figura 2, se retoma el descenso de la población ovina, lo cual Salgado en marzo del 2007, ya proyectaba para ese año, debido a la elevada extracción y una alta mortandad de corderos anual; el

año iba a cerrar con una cifra de extracción superior al ingreso por corderos señalados, por lo que la población descendería en más de medio millón de cabezas.

Según Bianchi y Garibotto (2008), la evolución del stock ovino y vacuno durante los últimos 17 años ha llevado a que la relación lanar/vacuno fluctúe desde un valor máximo de 3 al actual, inferior a 1.

Los vacunos y ovinos compiten por el forraje disponible y los cambios ocurridos históricamente a nivel nacional han respondido a sustituciones de un rubro por otro (Cardellino, 2007); el significativo crecimiento de la producción ganadera vacuna de los últimos años se basó fundamentalmente en su expansión sobre pastizales liberados por la reducción de los ovinos y en el incremento de la productividad del sector invernador, verificable por la reducción en la edad de faena (Soca, 2006).

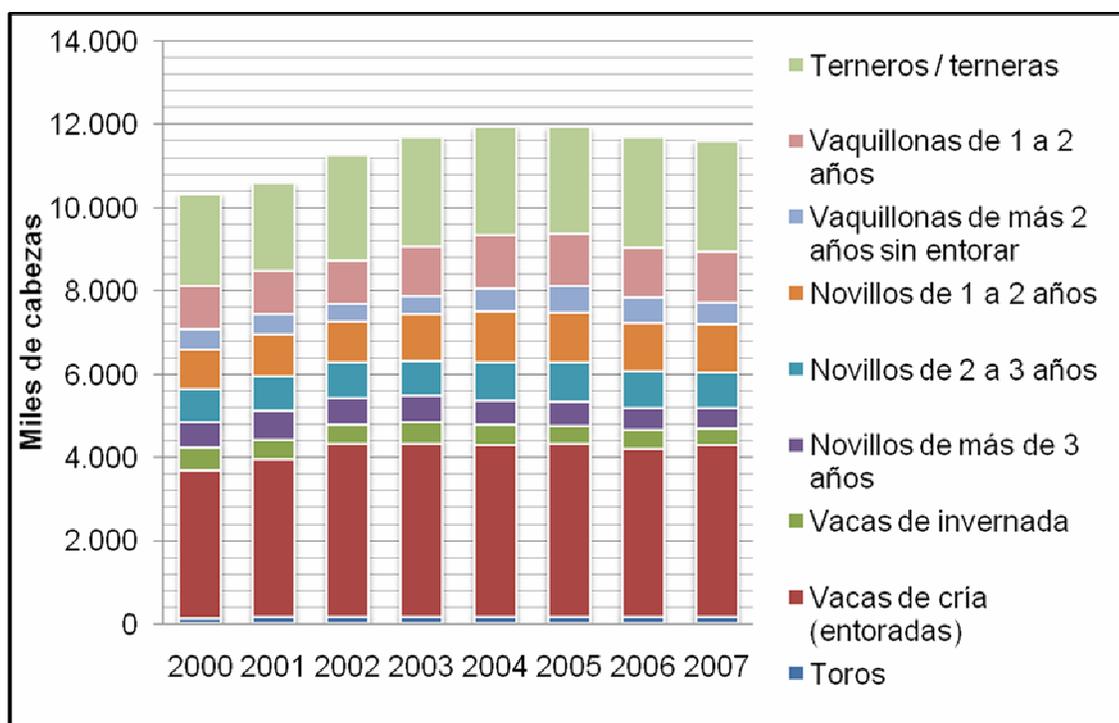


Figura 3. Evolución del stock vacuno en el Uruguay en el período 2000-2007.

Fuente: URUGUAY. MGAP. DIEA (2008).

No obstante, algunas debilidades estructurales quedan claramente de manifiesto con los datos de las cifras de existencias vacunas a partir del 2006

que se presentan en la figura 3. En efecto ya no se puede seguir creciendo si no mejoran los indicadores reproductivos; en el año 2006 se confirma una disminución del stock, como fruto de una extracción superior a la reposición de terneros, que pone un techo a la producción (Chouy, 2006a).

Partiendo de la información presentada en la figura 3, se puede determinar que las vacas de cría parecen haberse estabilizado y se puede concluir - también - que efectivamente se está registrando una disminución en la edad de faena de los novillos. Debido a la disminución de novillos con más de 3 años, en el 2006 el 70% de los novillos faenados fueron de dentición incompleta y 50% del total tenían 4 dientes o menos, o sea que eran menores de dos años y medio (Chouy, 2007a). Esta disminución según Chouy (2008a), en el último par de años parece haberse estancado.

En síntesis los cambios ocurridos en la ganadería en la última década, pueden resumirse de acuerdo a Chouy (2006c) en: disminución en la edad de faena de los novillos; simultánea disminución en el número de novillos de más de 3 años en el stock y aumento del número de vacas de cría, atribuible a un incremento en el número de vaquillonas de dos años entoradas.

En la figura 4 se presenta la evolución del stock ovino del país.

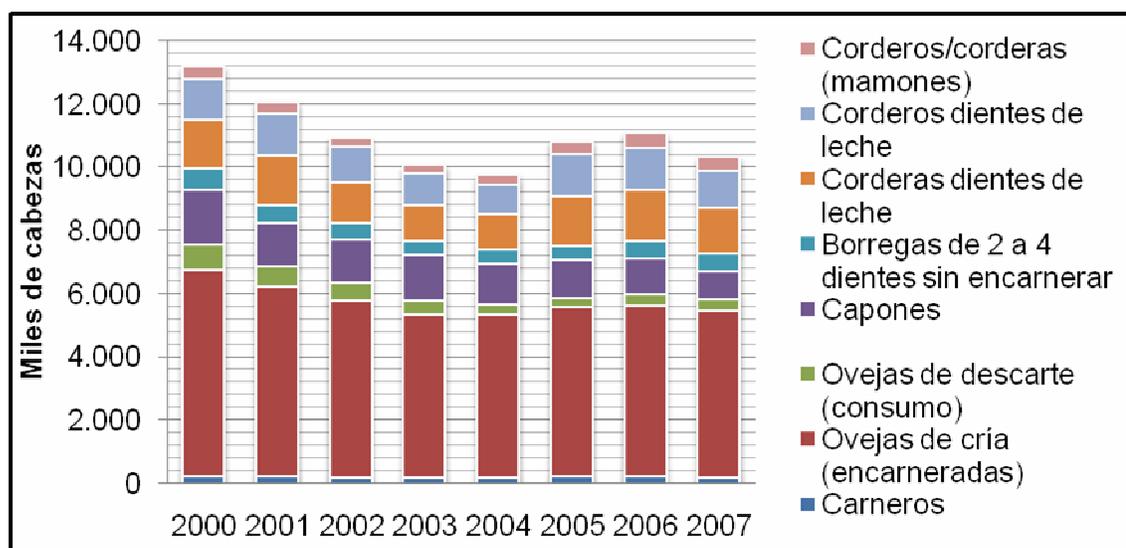


Figura 4. Evolución del stock ovino en el Uruguay en el período 2000-2007.

Fuente: URUGUAY. MGAP. DIEA (2008).

Tal cual como se observa en la figura 4, hasta el año 2004 la tónica en los ovinos fue extractiva (Chouy y Jiménez de Aréchaga, 2004). No obstante, en los últimos años parecería haber una tendencia a la estabilización del número de ovinos, en especial las ovejas de cría, aunque el descenso de los capones continúa registrándose.

El país dispone de oportunidades para implementar sistemas de producción que permitan capitalizar las actuales circunstancias de buenos precios para las lanas más finas y para la carne ovina (Cardellino, 2007).

En general, las posibilidades de potenciar la producción de carne están muy ligadas a las posibilidades de intensificar los sistemas, mejorando la base forrajera (Cardellino, 2007). El desarrollo del “cordero pesado” por el SUL, no ha sido suficiente para que ocurrieran los cambios que requiere la ganadería ovina de abandonar una producción extensiva, secundaria y destinada mayoritariamente a los suelos marginales del país (Bianchi y Garibotto, 2008).

2.1.3. Industria frigorífica

2.1.3.1. Características de los frigoríficos

Los frigoríficos uruguayos realizan dos tipos de faenas; una es la faena de hacienda propia y la otra es la faena para terceros (conocida como faena “façon”); en esta última el frigorífico nunca es propietario de la carne, sino que el propietario es un tercero, al cual el frigorífico le cobra el servicio de faena (URUGUAY. INAC, 2007a).

Las plantas de faena en el Uruguay están clasificadas en diferentes categorías. Las plantas de Categoría I, son las plantas de faena que cumplen con los requisitos para abastecer todo el territorio nacional. La capacidad de faena se determina individualmente en base a las características de cada planta. La habilitación de la categoría II y III, se otorga con la exclusiva finalidad de abastecer a aquellas poblaciones o localidades que no sean aprovisionadas en forma regular y permanente por establecimientos de faena habilitados a nivel nacional (Categoría I). En los establecimientos de faena de Categoría II, las carnes y subproductos comestibles de los animales faenados, deberán expedirse, consumirse o industrializarse exclusivamente dentro del radio de 40 kilómetros. Mientras que en los establecimientos de faena de Categoría III, las carnes y sub-productos comestibles de los animales faenados, deberán expedirse, consumirse o industrializarse, exclusivamente dentro del radio circunscripto a la correspondiente localidad o paraje. Existe - además - otra categoría de establecimientos, denominada “precaria y revocable”, que

comprende a aquellos autorizados por el Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca en forma provisoria (URUGUAY. INAC, 2007a).

Bianchi (2005a, 2007), señala que la oferta de los productores es asimilada por un número bajo de frigoríficos. En el Uruguay hay 49 establecimientos frigoríficos (incluido 12 plantas de faena de aves), que están dentro de la Categoría I; las otras categorías son en torno a 40 establecimientos (URUGUAY. INAC, 2007a).

A su vez los frigoríficos se dividen en lo que se denominan Grupos. Los establecimientos del Grupo I son aquellos que se encuentran habilitados para exportar a los mercados con mayores exigencias (por ejemplo EE.UU. y Unión Europea); los de Grupo II están habilitados a la exportación a otros mercados de menores exigencias y los del Grupo III, sólo están habilitados para la faena interna; además existen los establecimientos llamados Ciclo 2, los cuales están habilitados para la exportación, pero que no realizan faena (Ordeix y Ferreira, 2001).

A partir del año 2002, con la compra del Frigorífico PUL por capitales extranjeros, se ha dado un fenómeno de extranjerización de los establecimientos de faena por grandes grupos; a los cuales el ingreso a la plaza uruguaya les brinda acceso alpreciado mercado estadounidense, y la posibilidad de producir carne de razas de mayor reconocimiento para los mercados de más alto valor; además del avance de la trazabilidad, las marcas y las certificaciones que pueden lograrse desde el Uruguay (País Agropecuario, 2007).

Las exigencias de los mercados mundiales de carnes aumentaron en los últimos años, en términos de certificación de origen, de productos y procesos, impacto ambiental de los sistemas de producción sobre los recursos naturales, bienestar y sanidad animal, seguridad alimentaria, calidad, consistencia, diferenciación, continuidad de la oferta del producto y salud humana (Montossi, 2007).

Un paso importante que han dado los frigoríficos en el Uruguay es la instalación de las “cajas negras” (balanzas y computadoras inviolables, en línea con el INAC: Instituto Nacional de la Carne; colocadas en las plantas), hecho que ha mejorado la cristalinidad en la comercialización, previniendo acciones de competencia desleal y asegurando la recaudación impositiva que corresponde (Chouy, 2007a).

El incremento de la demanda de información por parte de los consumidores finales de productos cárnicos bovinos, provocó - además - la

necesidad de realizar un programa de trazabilidad (implementado en el Uruguay desde el año 2006). Estos consumidores pertenecen a mercados que exigen la trazabilidad como atributo de calidad. Esta herramienta - que en un futuro cabe la posibilidad de extenderla a otras especies como los ovinos - permite “seguir la ruta” del animal desde que nace hasta que se sacrifica, aportando datos tales como: fecha y lugar de nacimiento, propietario, sexo, raza, así como también sus movimientos (URUGUAY. MGAP, 2008).

Independientemente del frigorífico, estos tienen una organización semejante en las diferentes partes de sus instalaciones como puede observarse en la figura 5.

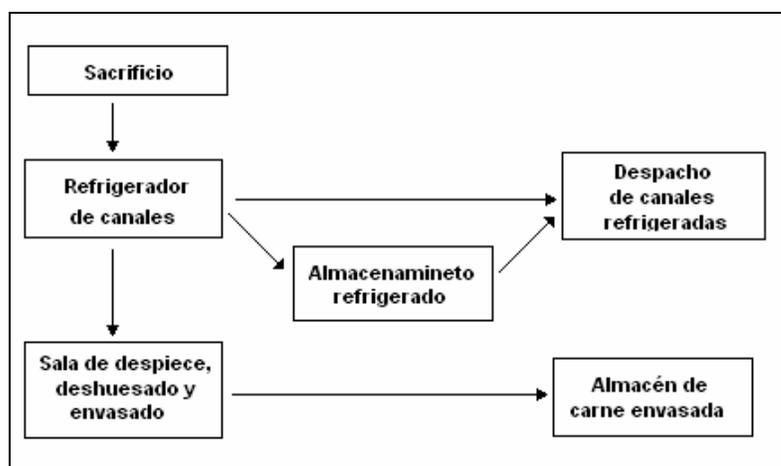


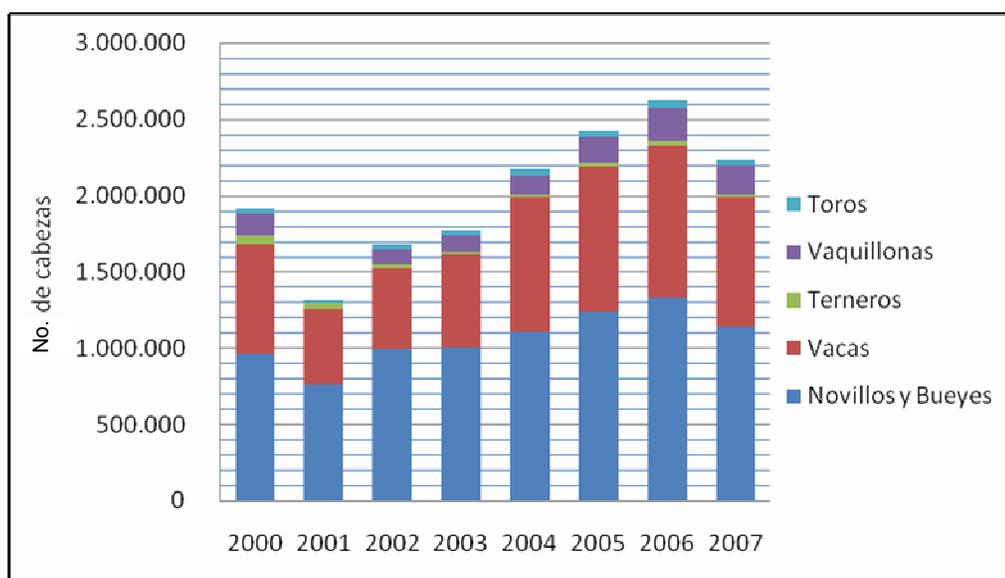
Figura 5. Diagrama de un complejo cárnico, con sección de despiece, deshuesado, envasado y almacenamiento.

Fuente: adaptado de Cano (1991).

Como se aprecia en la figura 5, el frío es una parte importante dentro del frigorífico. La instalación de los equipos de refrigeración aproximadamente corresponde a más del 50% de la distribución de la inversión al construir una planta frigorífica (Cano, 1991).

2.1.3.2. La faena en el Uruguay

Durante los años 2001 y 2002 se acumularon cientos de miles de vacas en el rodeo (ver de nuevo figura 3), conforme no habían precios atractivos para su venta; al restablecerse el comercio con EE.UU., los precios de las vacas subieron y esta categoría aumentó su precio, lo cual incrementó la faena de esta categoría, tal como se muestra en la figura 6 (Chouy, 2003).



No se incluye el autoconsumo de los predios.

Figura 6. Evolución de la faena de vacunos (número de cabezas) en el Uruguay en el período 2000-2007.

Fuente: URUGUAY. MGAP. DIEA (2008).

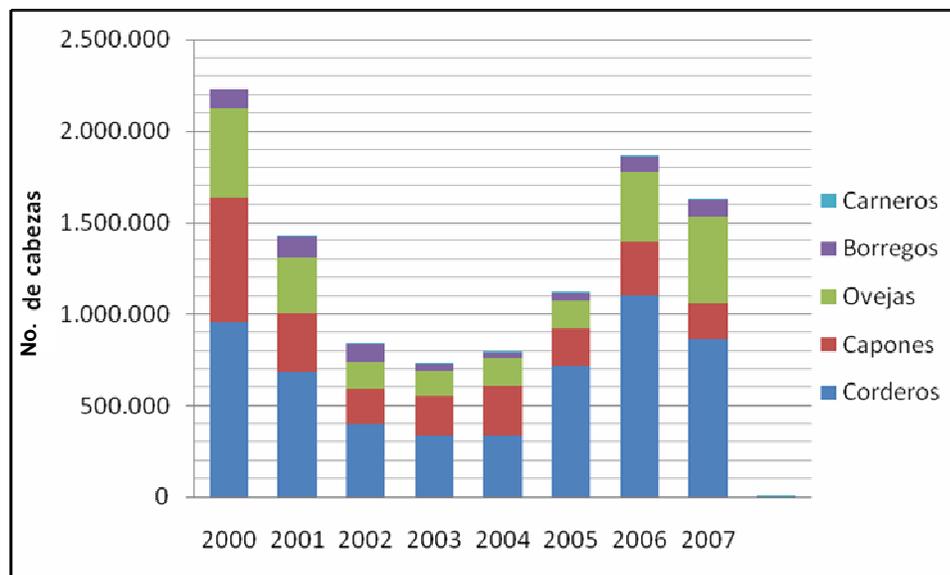
En el año 2004 y debido a la excelente coyuntura del mercado externo (en la cual Uruguay no incidió en lo más mínimo), se mantuvieron los precios altos y la demanda firme para la carne vacuna y ovina; aunque también se debió a las condiciones climáticas favorables que mejoraron la producción vacuna y ovina (Chouy y Lussich, 2005).

En el año 2005, el aumento de la faena se explica básicamente por las adversidades climáticas, en primer lugar la fuerte sequía que aquejó al norte del país y que provocara un incremento desmesurado de la oferta de ganado a frigorífico. No obstante, la faena abultada se produjo sin que los pesos promedio de las canales bajaran respecto a un año normal (Chouy, 2006d). También en el año 2005, se agregó el mercado chileno con una fuerte demanda (problemas con sus proveedores habituales Brasil y Argentina); también Rusia, Israel, Sudáfrica, Argelia y Cuba, entre otros, habían aumentado fuertemente sus compras en ese año (Chouy, 2006b, 2006d) y pagaron precios sin antecedentes en nuestra región (Chouy, 2006a, 2007b).

La extracción industrial en el año 2007 fue relativamente reducida, esto interrumpió una serie de fuertes crecimientos que se venían registrando desde

el año 2002. Este ejercicio se caracterizó por severos episodios climáticos y también por grandes cambios en los mercados (Chouy, 2008a).

Respecto a la situación del rubro ovino de la ganadería uruguaya, en la figura 7 se presenta cómo operó la faena por categorías ovinas en el período 2000-2007.



No se incluye el autoconsumo a nivel predial.

Figura 7. Evolución de la faena de ovinos (número de cabezas) en el Uruguay en el período 2000-2007.

Fuente: URUGUAY. MGAP. DIEA (2008).

Durante el 2006 la faena ovina se incrementó en un 63 % respecto al año anterior, siendo ésta la más alta de los últimos 5 años. Además, no se puede perder de vista que existía un stock importante debido a los problemas de comercialización del año 2005.

2.1.4. Comercio de carnes

2.1.4.1. El mercado interno

En el 2006 el Uruguay tuvo un consumo per cápita de 52,8 kg/habitante/año de carne vacuna; mientras que el de carne ovina fue de 6,2 kg/habitante/año. No obstante, es importante señalar que un componente muy importante del consumo per cápita de la carne ovina es la faena predial, la cual

representa un porcentaje significativo del consumo total de carne ovina: 86% en el año 2004, 68% en el 2005 y 58% en el 2006 (URUGUAY. INAC, 2007a). El consumo total de carne por habitante en países desarrollados es de 40,3 kg y en países en desarrollo es de 29,7 kg (Hernández, 2005).

Para los años 2004, 2005 y 2006 el mercado interno en Uruguay ocupó el segundo lugar en el ranking de los principales destinos de la carne bovina producida del país después del NAFTA (URUGUAY. INAC, 2007). En la figura 8 se presenta la estructura del consumo interno, exceptuando el consumo de carne aviar, que ha crecido de forma importante en los últimos años (alrededor de 29 kg/habitante/año; URUGUAY. INAC, 2008a).

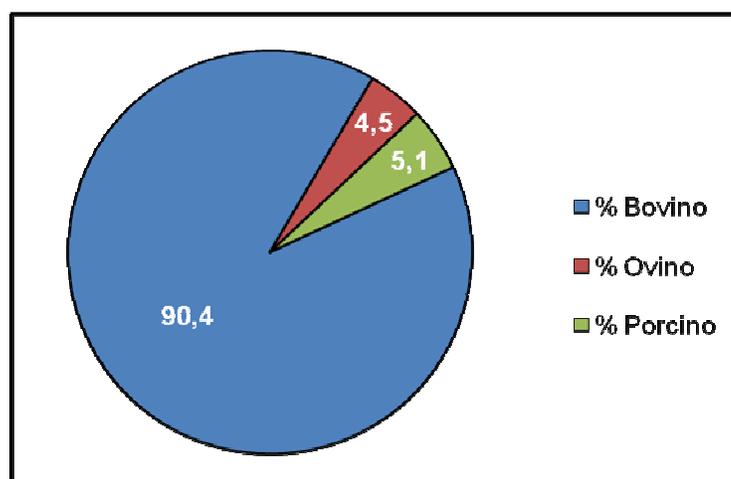


Figura 8. Participación de diferentes carnes (bovinas, ovinas y porcinas), en el mercado interno para el año 2007, sin incluir la carne importada.

Fuente: URUGUAY. INAC (2008a).

Se distingue claramente la preferencia de los consumidores por la carne vacuna (90%), frente a la de ovinos o porcinos. Comparando los valores del 2006 (URUGUAY. INAC, 2007a), con los valores del 2007, se observa gran similitud para todas las carnes, aunque la participación de la carne ovina fue mayor a la porcina en el año 2006. Cuando se compara el año 2005 y 2006, se observa un incremento del 80,9 % en la proporción de la carne ovina (URUGUAY. INAC, 2007a).

De los establecimientos de faena habilitados, tan sólo 19 representan el 91 % del total de la faena de bovinos a nivel nacional y el 75% de sus ventas del total de la carne bovina expedida al mercado interno en todas sus formas; y

de éstos, tan solo 5 concentraron casi el 50 % de la carne bovina del mercado interno para el año 2007 (URUGUAY. INAC, 2007b).

Del total de kilogramos expedidos en el año 2006 de carne vacuna para el mercado interno, un 92 % tuvo como destino el abasto y un 8% la industria, correspondiendo un 88% a faena propia, y el 12% restante a faena façon; mientras que para los ovinos, del total de kilogramos expedidos para el mercado interno, casi un 100% tuvo como destino el abasto, correspondiendo un 56 % a faena propia, y el 44 % restante a faena façon (URUGUAY. INAC, 2007a).

El número de empresas autorizadas a distribuir carne y menudencias, de las especies bovina, ovina y porcina es de 236 y existen en la actualidad 2365 puntos de venta habilitados (URUGUAY. INAC, 2007a).

2.1.4.2. Las exportaciones de carnes

En la figura 9 se muestra cómo ha sido la distribución porcentual de las exportaciones del país, en dólares, para el período 2000-2007.

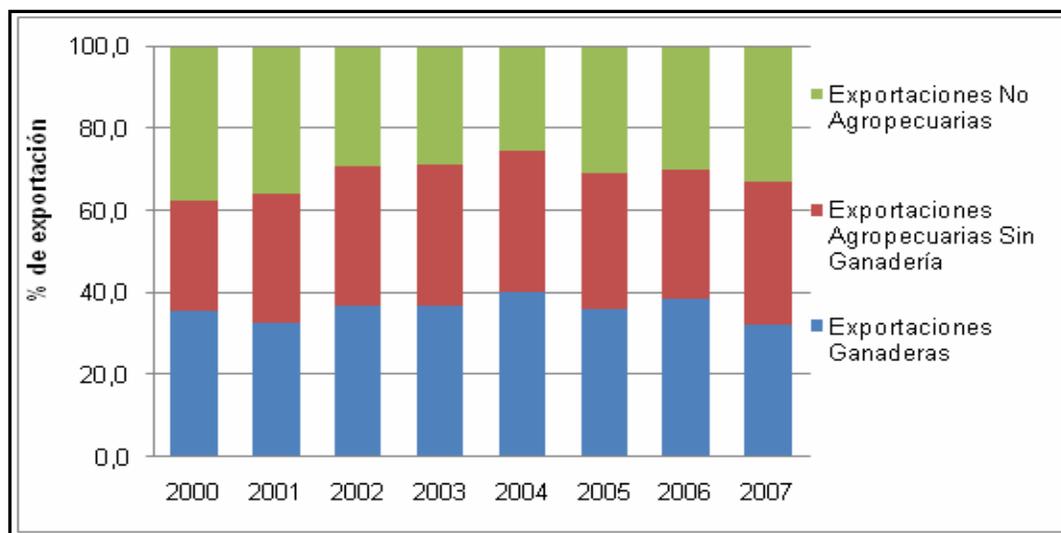


Figura 9. Evolución del porcentaje en dólares americanos, de las exportaciones del Uruguay de origen no agropecuario, agropecuario sin incluir a la ganadería y exportaciones ganaderas, para el período 2000-2007.

Fuente: Elaborado en base a URUGUAY. MGAP.DIEA (2001, 2002, 2003b, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008).

Se aprecia que las exportaciones de origen agropecuario han representado más del 60 % de las exportaciones del país y dentro de éstas el sector ganadero ocupa más del 30 % de las exportaciones nacionales en los diferentes años. La actividad agropecuaria que tiene el segundo lugar en las exportaciones corresponde a los productos de cultivos agrícolas que - en promedio - para dicho período fue de 12,5 % de las exportaciones nacionales; situación que reafirma la importancia del sector ganadero.

Dentro de las exportaciones ganaderas, la importancia relativa que juega cada uno de sus componentes es diferente. Como se presenta en la figura 10, la carne vacuna es el principal producto de exportación dentro de la ganadería - exceptuando - en el año 2001, en el cual las exportaciones estuvieron detenidas debido al brote de fiebre aftosa (Ordeix y Ferreira 2001, Chouy 2002). No sólo es la principal exportación de la ganadería uruguaya, sino el rubro más importante del país, representando - en promedio para el período 2000-2007 - más de un 18 % de las exportaciones en dólares americanos. Por el contrario, la carne ovina representa tan sólo el 3 % de las exportaciones ganaderas, y el 1 % de las exportaciones totales.

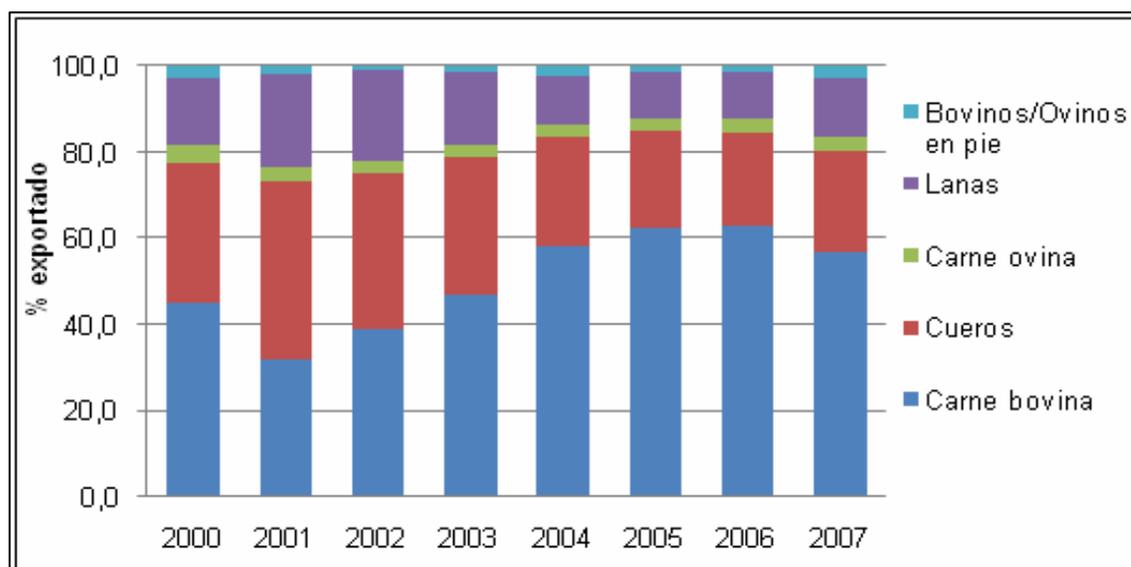


Figura 10. Evolución del porcentaje (en dólares americanos), de las exportaciones del Uruguay ganaderas, de carne bovina y ovina, bovinos y ovinos en pie, cueros y lana en el período 2000-2007 (en base 100).

Fuente: Elaborado en base a URUGUAY. MGAP.DIEA. 2001, 2002, 2003b, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008.

Tan solo 5 frigoríficos concentraban el 50% de las exportaciones de carne vacuna y 5 frigoríficos concentraban el 86% de las exportaciones de ovinos en el Uruguay en el 2003 (Bianchi 2005a, 2007).

Las exportaciones en toneladas de canal de carne vacuna han tenido un aumento en los últimos años, con una caída en el 2007. Pero el precio de la tonelada en dólares americanos ha continuado en aumento, por lo cual aunque los niveles de exportaciones de carne vacuna fueron similares en el 2005 y 2006, el valor de las exportaciones significó un aumento de más de 195 millones de dólares. Por este mismo aumento, aunque la disminución en las exportaciones de carne vacuna - en toneladas - fue de alrededor de un 20 % en el 2007 respecto al 2006, la disminución en dólares americanos exportados fue menor: 14 %. En las figura 11 se muestra estas tendencias.

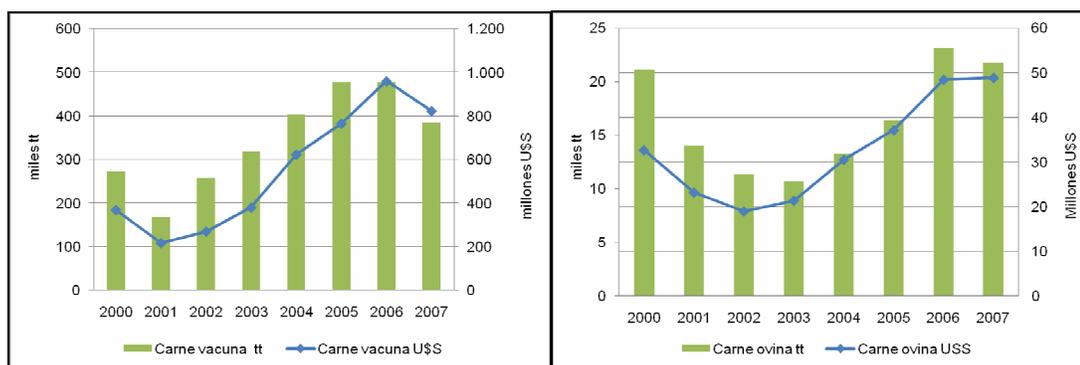


Figura 11. Evolución de carne vacuna y ovina exportada del Uruguay en el período 2000-2007 (en dólares americanos y en toneladas, peso canal).

Fuente: URUGUAY. MGAP.DIEA (2008).

En el 2007, el Uruguay pudo aprovechar oportunamente la caída en la oferta regional de carne vacuna, por los problemas sanitarios brasileños y la auto-exclusión de la Argentina (cese de exportaciones), re-direccionando sus mayores volúmenes a los desabastecidos mercados de la UE y Rusia. Esta situación, permitió captar mayores precios y aumentar sustancialmente la recaudación de divisas, a pesar de sufrir una disminución en los volúmenes exportados (Chouy, 2008a). También en el 2007, el mundo requería gran cantidad de productos cárnicos y no había volúmenes suficientes para cubrir la demanda, por lo que los precios estuvieron al alza en la carne vacuna; en ese año el Uruguay realizó grandes negocios de cortes de elevado valor por fuera de la cuota Hilton a Europa y todos los valores obtenidos fueron mayores al doble del año anterior (Chouy, 2008b).

Respecto a la carne ovina, aún sin contar con los mejores mercados para ésta, existió firme demanda por carne ovina a nivel mundial generando una tendencia alcista en los precios en el 2006 (El País Agropecuario, 2007).

A partir de la mitad del año 2008, se declara una crisis financiera mundial originada por la crisis inmobiliaria de los EE.UU.; su impacto en la carne uruguaya comenzó con caída de precios y difícil colocación; por lo que la cadena cárnica se encontró operando a precios más bajos que en años anteriores, pero con costos inflados (Chouy et al., 2008).

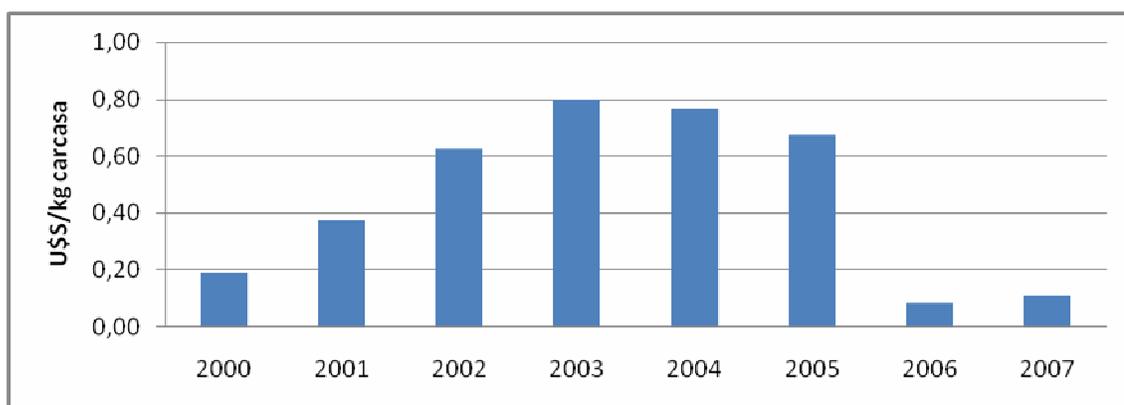


Figura 12. Evolución de la diferencia (en dólares americanos y para el período 2000-2007), entre un kilo exportado de peso canal ovinos versus bovino.

Fuente: Elaborado en base a URUGUAY. MGAP.DIEA (2008).

En la figura 12, se presenta la comparación entre los dos tipos de carne (vacuna y ovina), expresando en dólares americanos los valores registrados por la exportación de ambos productos en el período 2000-2007. El precio obtenido siempre fue mayor para la carne ovina exportada. Por ejemplo, en el año 2006 la carne ovina obtuvo alrededor de + 80 U\$\$/tt exportada, que la carne vacuna, siendo ésta la diferencia más baja para el período de años considerado.

Sin embargo, a nivel local el precio recibido por el productor uruguayo (salvo cuando la industria precisa cumplir su cupo con la Unión Europea), no ha diferido mucho, del precio recibido por un borrego; e incluso puede ocurrir también que la industria decida no levantar mercadería pronta del campo (tal como sucedió en el año 2005), Bianchi y Garibotto (2008). Por tanto, parecería claro - al menos hasta el momento - que la ausencia de desarrollo significativo en la producción de carne ovina, no hay que buscarla en el precio internacional de este producto, sino en la falta de señales claras desde la industria que no han permitido un desarrollo más importante.

Los productos de exportación de carne del Uruguay son carne refrigerada (congelada o enfriada), que representa el 94,3% de los volúmenes peso canal y el restante 5,7% como elaborada ya sea cocida o salada (Chouy, 2007b). Por lo tanto la carne uruguaya se exporta en su gran mayoría como un producto sin valor agregado (commodity). Estos productos se destinan a diferentes mercados los cuales se aprecian en los cuadros 3 y 4.

Cuadro 3. Porcentaje de carne vacuna exportada en U\$S (importe FOB) según principal destino para el año 2007.

Mercado	País	% exportado
MERCOSUR	ARGENTINA	0,4
	BRASIL	4,1
	CHILE	3,4
Subtotal MERCOSUR		7,9
NAFTA	CANADA	7,0
	MEXICO	1,8
	EE.UU.	37,0
Subtotal NAFTA		45,8
UNION EUROPEA	ALEMANIA	4,5
	BELGICA –	
	LUXEMBURGO	0,1
	DINAMARCA	0,3
	ESPAÑA	2,5
	FRANCIA	0,5
	IRLANDA	0,0
	ITALIA	1,4
	MALTA	0,0
	PAISES BAJOS	4,4
	PORTUGAL	0,6
	REINO UNIDO	9,1
	REPUBLICA	
	CHECA	0,1
SUECIA	0,5	
Subtotal UNION EUROPEA		24,0
OTROS PAISES		22,3
Total general		100

Fuente: URUGUAY. MGAP. INAC (2008b).

Pasamos de una alta concentración de pocos compradores en el año 2002, a lograr acceder a un número importante de destinos en diferentes continentes; la concentración aumenta los riesgos; si el comprador hegemónico (EE.UU.) cancela sus importaciones, el impacto puede ser enorme, pero, si existen numerosos compradores, el riesgo se diluye (Chouy, 2006b). El NAFTA en el 2007 representa el mayor destino de la carne vacuna exportada (45%) y dentro del mismo los EE.UU. representa el mayor comprador de la misma; la Unión Europea es el segundo destino; dentro de los socios del MERCOSUR Brasil y Chile son los principales destinos, sumando entre ambos el 7,5% de las exportaciones.

Cuadro 4. Porcentaje de carne ovina exportada en U\$S (importe FOB) según principal destino para el año 2007 y el precio percibido por kilogramo carcasa en cada destino.

Mercado	País	% exportado	U\$S/Kg carcasa
MERCOSUR	Brasil	34,91	2,21
	Argentina	0,32	1,41
Subtotal MERCOSUR		35,23	2,19
Resto de América		2,22	2,47
UNION EUROPEA	Reino Unido	12,02	2,34
	Alemania	10,16	3,50
	Países Bajos	6,69	2,83
	Francia	3,27	1,15
	Otros	0,71	1,46
Subtotal UNION EUROPEA		42,96	2,78
Resto de Europa		2,43	2,04
Asia	Arabia Saudita	6,06	1,89
	Otros	0,45	1,18
	Subtotal Asia		10,12
África	Libia	2,13	2,38
	Argelia	1,76	2,23
	Otros	1,18	2,18
Oceanía		0,87	2,06
Proveduría Marítima		0,56	2,21
Total		100	

Fuente: URUGUAY. MGAP. INAC (2008c).

Los destinos uruguayos de la carne ovina principales como se observa en el cuadro 4, son la Unión Europea la cual compra solamente carne desosada; Brasil, el cual es fundamental, debido a la compra de carne con hueso, lo que permite la exportación de los cortes valiosos (como por ejemplo el French Rack), y además, se facilitan los embarques de productos como la paleta, asado o incluso la carcasa entera; otros destinos son los países árabes, que también compran carne con hueso y pagan buenos valores (Chouy y Jiménez de Aréchaga, 2008).

La carne ovina representa nada más que 5% de la carne que se produce en el mundo y una proporción mucho menor es la que se comercializa internacionalmente (Chouy, 2003a).

Al igual que sucede con la carne vacuna el Uruguay tiene un número importante de mercados en todos los continentes para la carne ovina, es de destacar la diferencia en el precio percibido en diferentes mercados, en los cuales se dan situaciones extremas de 3,5 U\$S/kg en Alemania y menores a 1 U\$S/Kg en algunos países de Asia.

2.1.5. Síntesis

A modo de síntesis de este apartado, claramente el Uruguay tiene una alta dependencia del sector agropecuario y dentro de éste la producción ganadera en su conjunto tiene un peso fundamental, la cual ha tenido una serie de cambios a lo largo de la historia del país debido a factores internos y externos. Es de destacar la disminución del número de productores, y de los trabajadores rurales en general, de la cual el sector no ha sido ajeno. Con respecto a las características del rodeo nacional en este momento se observa la menor relación lanar vacuno de la historia, debido en gran parte a la disminución de los precios de la lana y el aumento de la agricultura y forestación como rubros alternativos. La mayoría de los productores no han visto en la carne ovina una alternativa clara para apostar a su producción, como rubro de importancia dentro de sus empresas.

Con respecto a las industrias frigoríficas, estas han hecho esfuerzos muy importantes para lograr la apertura de un número importantes de mercados, sin embargo quizás porque un número bajo de empresas controla la exportación de carne, no ha habido señales claras para que los productores intensifiquen su producción de carne ovina. Por todo esto parece necesario que para incrementar la rentabilidad del sector agropecuario es necesario mantener y elevar la investigación en el rubro ovino, no sólo en aspectos productivos, sino también en calidad del producto.

2.2. CALIDAD DE LA CARNE

2.2.1. La carne

La carne se define como el tejido muscular de los animales utilizado como alimento (Lawrie, 1966).

Seguramente la carne empezó a jugar un papel relevante en la dieta de los humanos muy temprano en la evolución; inicialmente la carne sería carroña de los depredadores más efectivos, como los grandes felinos, hasta que se desarrollaron las técnicas de caza; la posterior domesticación de los animales y el desarrollo de la ganadería aseguraron una fuente de carne más fiable (Warriss, 2003).

A pesar de la gran variedad de especies de las que se consume carne, las principales son los bovinos, ovinos, cerdos y el pollo. La importancia de las tres primeras especies señaladas en la provisión de proteína cárnica, es diferente en las distintas zonas del mundo. La carne vacuna es la más importante en América del Norte y Sur, África y Europa, mientras que la carne de cordero es más importante en Oriente Próximo y el cerdo en el Lejano Oriente (Warriss, 2003).

Las carne rojas, el cerdo y el pollo contribuyen en cerca de una sexta parte de toda la proteína consumida por el hombre. La carne es una fuente importante de vitaminas (por ejemplo: el grupo B) y de minerales (por ejemplo: el hierro), también contiene todos los aminoácidos esenciales para la salud del hombre (Warriss, 2003).

Por lo tanto el ovino no es sólo un proveedor de lana, leche y pieles (con importancia relativa según el país considerado), sino que también es un productor de carne, la cual constituye una fuente de proteínas básicas de origen animal en determinadas regiones del mundo, además de ser un producto de lujo en otras (Montossi y Sañudo, 2004).

2.2.2. La calidad de carne

El término calidad en su acepción más general hace referencia a la propiedad inherente a algo, que permite juzgar su valor. En consecuencia, se reconoce que el concepto de calidad aplicado al producto carne se torna ambigua dependiendo del eslabón de la cadena cárnica desde el cual se aplique (Bianchi, 2005a, 2006, 2007).

La calidad tiene distintos componentes, mientras algunos de estos componentes son de interés para todo el mundo, otros son solo de importancia imperiosa para algunos sectores (Warriss, 2003). El negocio de la carne y los productos cárnicos, es el conjunto de los diversos procesos necesarios para transformar un animal vivo en un alimento sano y nutritivo (Cano, 1991).

La producción cárnica atañe principalmente a productores y mayoristas, las características tecnológicas fundamentalmente a la industria, y la palatabilidad al consumidor final (Warriss, 2003).

Bianchi (2005a), concuerda con lo señalado por Warriss (2003), al analizar el trabajo de Sañudo (1992), donde se determinaba la importancia relativa de varios caracteres asociados a la calidad de la canal y de la carne para los distintos eslabones de la cadena cárnica. Este autor concluye que el ganadero y el frigorífico están interesados en las características vinculadas a la calidad de la canal y poco con la calidad de la carne; por el contrario los compradores y los consumidores, se interesan más por las características de la carne.

Son numerosas las etapas que son necesarias hasta que la carne pueda ser utilizada por el consumidor final. En cada una de estas etapas existe una gran variedad de factores que pueden afectar la calidad del producto, tanto desde el punto de vista de la canal, como de la carne (Bianchi, 2005a).

En base al trabajo de Sañudo (1992), Bianchi (2005a), concluye que los factores intrínsecos o productivos influyen mayoritariamente sobre la calidad de la canal, sin embargo los factores pre y post-sacrificio y los vinculados a la comercialización y el consumo, afectan mayoritariamente a la calidad de la carne.

El consumidor es a quien le afecta directamente la calidad de la carne, por lo que debe de ser considerado y estimulado en la cadena de comercialización (Bianchi et al., 2004). En este sentido, la calidad organoléptica de la carne es la responsable de satisfacer las demandas del consumidor (Garibotto, 2004).

Dentro de la calidad organoléptica se encuentra la palatabilidad; o también llamada calidad sensorial de la carne, que contempla 3 características principales, que son la ternura, la jugosidad y el sabor. En muchos países desarrollados la población prefiere que la carne sea tierna y el valor de los distintos cortes o piezas cárnicas así lo refleja (Warriss, 2003).

Las preferencias en calidad por parte de los consumidores pueden estar determinadas por la experiencia previa y posiblemente por el acostumbramiento de la población; con frecuencia, lo que más le gusta es aquello a lo que está habituado (Warriss 2003, Montossi y Sañudo 2004).

Resulta evidente que para obtener un producto de calidad, es condición necesaria que los diferentes integrantes del complejo actúen en forma coordinada, reconociéndose cada uno de ellos como un componente esencial de dicho proceso y colaborando en la meta de obtener un producto de calidad (Garibotto 2004, Bianchi 2005b). A su vez, la calidad debe ser precisada en el contexto de un mercado definido (Ferreira, 2005).

A nivel de los frigoríficos y dado su peso en la comercialización del producto, además de ajustar aspectos tecnológicos, se deberían dar señales claras que prioricen la calidad de la carne, frente a la calidad de la canal. Éstos en realidad deberían valorar la carne, que es la que afecta al último eslabón de la comercialización, que actualmente es uno de los niveles más débiles: el consumidor (Bianchi, 2005a).

Por lo tanto la información científico/técnica es un elemento clave a nivel mundial para promover y valorizar los productos cárnicos. En el Uruguay, es algo de reciente preocupación, por lo que el posicionamiento de los productos cárnicos uruguayos podría verse limitado en el contexto internacional, si no se encararan estrategias al respecto (Montossi y Sañudo, 2004).

2.2.3. Principales atributos para el consumidor

Desde el punto de vista del consumidor, la mayor o menor aceptabilidad de un corte de carne es evaluado a través de factores como: apariencia, precio de compra, flavor (aroma y sabor), facilidad de preparación, ternura, jugosidad y valor nutritivo percibido (Teira, 2004). No obstante, la aceptación por el consumidor, depende - principalmente - de la ternura, tal como se aprecia en la figura 13 y como lo señalan Koohmaraie et al. (1994), Warris (2003), Jaturasitha et al. (2004), Teira (2004). Esta situación determina que los diferentes cortes de la canal sean comercializados básicamente con un precio acorde a su ternura esperada (relación positiva entre el precio del corte de carne y su relativa ternura) y a su facilidad de preparación (Koohmaraie et al. 1994, Teira 2004).

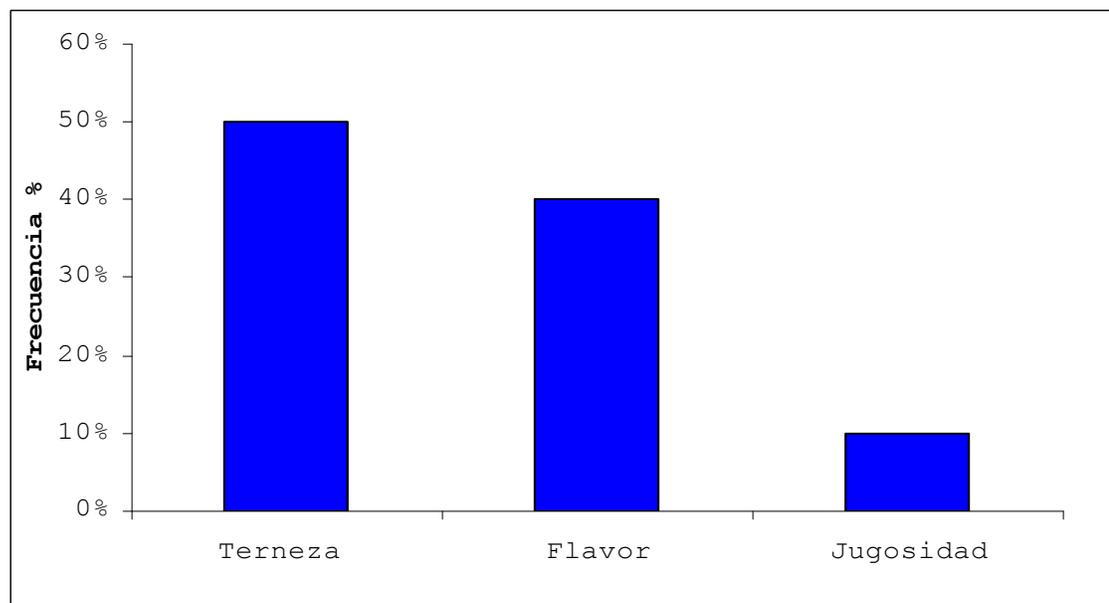


Figura 13. Percepción (en términos relativos) de la importancia de diferentes atributos sensoriales de la carne por parte de consumidores de supermercados.

Fuente: adaptado de Koohmarie et al. (1994).

Koohmaraie et al. (1994), sostienen que la palatabilidad tiene un número importante de componentes: terneza, jugosidad, y flavor; y que es una combinación de estos atributos los que determinan la aceptación final del producto. Killinger et al. (2001), encontraron que su panel sensorial detectó diferencias en los músculos que presentaban un mayor marmoreado (mayor flavor, jugosidad y terneza), aunque la terneza instrumental no difirió entre músculos. Los autores sugieren la necesidad de utilizar paneles sensoriales en forma complementaria a los análisis instrumentales de la carne, si lo que se desea es la satisfacción del consumidor.

En un estudio realizado por Tatum et al. (1999), realizado en los EE.UU., cuyo propósito era determinar cuáles eran los más poderosos incentivos para que los consumidores compraran carne en los puestos de venta; se encontró que el grado de aceptación estuvo asociado (en orden de mayor a menor) por: bajos precios, buena calidad y precio simultáneamente y la calidad de consumo, relacionado a: terneza, flavor y jugosidad. En un estudio posterior, realizado por los mismos autores, se les ofreció a los consumidores una tarjeta que les aseguraba determinado umbral de terneza. Para ello, se utilizó la medida de la fuerza de corte con cuchilla Warner-Bratzler y se separaron dos muestras: una

tierna y otra de terniza marginal. Los consumidores probaron la carne en sus casas y el 89 % expresó el interés por volver a comprar la carne que les garantizara valores razonables de terniza. Es más, un tercio de los consumidores indicaron que estarían dispuestos a pagar más por carne que dispusiera de este tipo de información. A su vez, algunos consumidores se mostraron interesados en aumentar su consumo de carne, si se les aseguraba la terniza del producto. Estos resultados sugieren de acuerdo a Tatum et al. (1999), que la implementación de este tipo de estrategias de comercialización, podría aumentar la demanda de carne.

Shackelford et al. (2001), realizaron un trabajo similar al anterior (en cuanto al uso de tarjetas), en un supermercado de EE.UU., sobre 1036 consumidores y determinaron que el 89 % de éstos preferirían comprar la carne que tuviera tarjeta. El 35% indicó que estarían dispuestos a aumentar la compra de carne fresca, si se les daba la opción de la tarjeta con la información del valor de terniza del producto. El 54 % de los consumidores indicó que 1 o 2 de sus siguientes 10 compras de carne fresca, serían de la carne con la tarjeta de terniza. A su vez, el 65 % de los consumidores indicó que si un puesto de venta garantizaba la terniza, estarían dispuestos a comprar toda la carne en dicha tienda.

Si bien hay diferentes criterios entre consumidores en cuanto a características deseables de la carne, la preferencia por carne tierna es consistente y reconocida en todos los ámbitos de producción y comercialización (Soria y Corva, 2004).

Los trabajos revisados coinciden en que la terniza de la carne es un parámetro esencial de la calidad para satisfacer las necesidades de los consumidores. En el mismo sentido, Lawrence et al. (2006); trabajando con consumidores australianos, encontraron que el 77 % de ellos, estaban dispuestos a aumentar su demanda por carne, si supieran siempre que ésta fuera a ser más tierna que la adquirida antes. Además un sector importante de consumidores, estaría dispuesto no sólo a aumentar su consumo, sino que también a pagar un sobre precio por la carne si esta se garantizara.

En definitiva, los consumidores de carne exigen y están dispuestos a pagar más por aquellos productos con atributos de calidad (Killinger et al. 2001, Montossi y Sañudo 2004, Bianchi 2005a, San Julián et al. 2006) y procedencia conocida (Montossi y Sañudo 2004, San Julián et al. 2006). Así como también la presentación, la conveniencia, la seguridad, el tiempo de conservación y la salud son algunos de los otros aspectos cada vez más presentes y con mayor peso en la decisión del consumidor (Bianchi, 2005a).

No obstante y a pesar de todos estos resultados, el consumo de carne resulta muy sensible a los cambios de precios, debido a múltiples opciones de consumo de proteína, inclusive de origen vegetal; lo cual significa que precios muy altos de la carne, originan desplazamientos hacia bienes sustitutos (Hernández, 2005).

El aumento de las horas de trabajo, poder adquisitivo de los consumidores y hogares unipersonales ha influido en la tendencia a la disminución del tiempo destinado a compras, a la cocina, y a la preparación de comida; lo que ha llevado a un importante crecimiento de las comidas prácticas, prontas, rápidas y el consumo frecuente de pequeñas porciones durante el día (Ferreira, 2005). Se resalta - entonces - la importancia de la necesidad de cortes tiernos, debido a que éstos admiten formas de cocción más rápidas (Garibotto 2004, Bianchi 2005a, 2006, 2007).

En un trabajo de colaboración entre Uruguay y España en el que se evaluaba el grado de aceptación de la carne ovina uruguaya en Europa, se determinó que ésta presentaba valores de aceptación claramente positivos para el consumidor Europeo (Montossi y Sañudo 2004, Montossi et al. 2005).

2.3. LA TERNEZA DE LA CARNE

2.3.1. ¿Porqué la investigación en terneza?

Según Koohmaraie et al. (1994), el hecho de que la investigación se haya dado con mayor importancia en esta característica en particular, responde a la gran variación que ésta presenta (coeficiente de variación = 16,8 %), frente a la jugosidad (coeficiente de variación = 8,1 %) y al flavor (coeficiente de variación = 6,6 %).

La terneza es considerada un parámetro de calidad fundamental, ya que únicamente pueden apreciarse otras características cualitativas de la carne a partir de determinados umbrales de terneza (Garibotto 2004, Bianchi 2005a, 2006, 2007). Sólo cuando la terneza alcanza valores aceptables; el flavor pasa a jugar un rol mayor en la satisfacción del consumidor (Behrends et al., 2005).

Por otro lado, es sin dudas un factor que incide directamente en la formación del precio de los diferentes cortes de la canal. En general, aquellos cortes de mayor valor suelen ser los más tiernos y por ende admiten formas de cocción rápidas (Garibotto 2004, Bianchi 2005a, 2006, 2007). Esta situación está relacionada con el comportamiento que están adoptando los consumidores, en el sentido que se están desplazando desde métodos

tradicionales de preparación de los alimentos, a métodos que disminuyan el tiempo dedicado a la cocina (McGee et al., 2003).

En resumen, por todo lo dicho, resulta claro y justificable el hecho de que la investigación se haya centrado en la terneza de la carne y su aceptación por parte del consumidor. Sin embargo, la mejora de la terneza solamente no es suficiente para incrementar la aceptación de los consumidores por la carne, debido a que otras características como la nutrición y salud, aparecen también cambiando la demanda de alimentos y en especial los de los productos cárnicos (A.V.A. Resurreccion, 2003). La inhabilidad de la industria cárnica para adaptarse a dichos cambios, puede resultar en una futura pérdida de mercados para sus intereses (McGee et al., 2003).

2.3.2. Medición de la terneza de la carne

La terneza de la carne está determinada directamente por las propiedades de las estructuras miofibrilares, conjuntivas y del cito-esqueleto, las cuales son muy variables dependiendo de: la especie, raza, sexo, edad, y además, influyen en esta importante característica, numerosas variables biológicas y tecnológicas (Beltrán y Roncalés, 2005).

El método directo y objetivo más utilizado es el mecánico de corte o cizalla, mediante la célula Warner-Bratzler (Warriss 2003, Beltrán y Roncalés 2005), que mide la fuerza necesaria para cortar un cilindro de carne de 1 cm de diámetro con una cuchilla de borde romo (Beltrán y Roncalés, 2005).

Este método consiste, según Beltrán y Roncalés (2005) en:

- Toma de muestras: el músculo se madura por un período determinado y posteriormente se corta con las fibras orientadas siguiendo la dirección de su diámetro mayor.
- Conservación: Envasado al vacío y mantenimiento en congelación con la mínima fluctuación de temperatura. La descongelación se debe realizar a una temperatura de 4°C durante 24 horas.
- Cocinado: el filete se introduce en una bolsa de plástico y se coloca en un baño de agua hasta alcanzar una temperatura interna de 70°C.
- Medida de la terneza instrumental propiamente dicha: los filetes cocinados se cortan en prismas de 3-4cm largo x 1 cm ancho x 1 cm de alto, teniendo en cuenta que el corte sea perpendicular a la dirección de las fibras, posteriormente se utiliza la célula Warner-Bratzler aplicada a un texturómetro y con velocidad de ensayo de 50-100 mm/minuto. Una representación esquemática del corte se muestra en la figura 14.

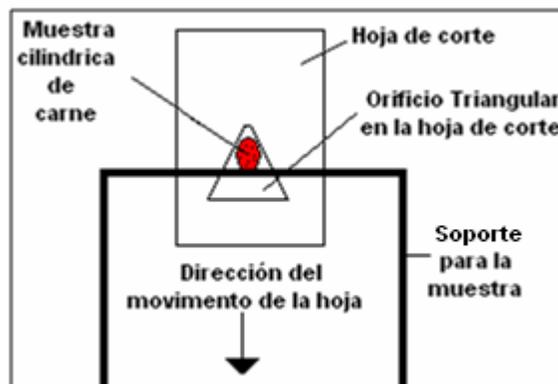


Figura 14. Representación esquemática de la hoja de corte de Warner-Bratzler.

Fuente: adaptado de Warriss (2003).

La terneza medida en forma objetiva e instrumental (cizalla Warner-Bratzler) está correlacionada negativamente y en forma moderada con la valoración sensorial realizada por un panel (Peachey et al., 2002). Varios son los autores que han llegado a conclusiones similares; por ejemplo Caine et al. (2003), determinaron en carne vacuna, una correlación negativa del 60 %; Sullivan y Calkins (2007), trabajando sobre 14 músculos, reportaron una correlación negativa de 85 % dentro de cada músculo entre las dos medidas. Perry et al. (2001), encontraron una correlación de 0,55 y estos autores citando a Shackelfor et al. (1995), reportaron correlaciones diferentes entre músculos: nulas en el *Gluteus maximus* ($r^2 = 0,0$), o muy altas en el *Longissimus dorsi* ($r^2 = 0,73$). Por lo tanto las correlaciones entre ambas formas de evaluación de la terneza son moderadas a bajas, dependiendo de factores aún no han sido plenamente dilucidados.

2.3.3. Mecanismos de acción involucrados

La terneza es la característica más importante de calidad de la carne y la habilidad para optimizar la producción de carne tierna, depende del detallado entendimiento de los mecanismos que están detrás del “enterneamiento” de ésta (Lametsch et al., 2004).

La terneza de la carne es un parámetro variable, sus causas tienen relación con diversos factores: genéticos, condiciones ambientales y tratamientos post-mórtem (Dransfield 1994, Teira 2004). El control de los factores pre y post-mórtem son - por tanto - de extrema importancia durante la industrialización, para controlar y mantener la calidad de la carne que se comercializa (Teira, 2004).

En condiciones de industrialización estandarizadas, algunos investigadores sostienen que sólo un 20 % de la variación de la terneza en la carne es atribuible a: diferencias en la marmorización (contenido de grasa intramuscular) y la cantidad y solubilidad del tejido conectivo. Mientras que sobre el 80 % restante, se desconoce a qué se deben las variaciones en las alteraciones post-mórtem, causadas por el proceso enzimático que genera el “enternecimiento” de la carne. (Koochmaraie et al., 1994).

Von Seggern y Calkins (2001), trabajando con 39 músculos indicaron que hay una extensa variación en las propiedades físicas y químicas en éstos después del sacrificio).

La carne faenada no es un organismo vivo, pero está sometida a una gran actividad biológica (Cano, 1991). Los principales factores que afectan a la terneza de la carne son: la longitud del sarcómero, la cantidad de tejido conectivo y su grado de entrecruzamiento, y la intensidad de los cambios proteolíticos ocurridos durante el acondicionamiento post-mórtem (Warriss, 2003). Es más hasta se podría hacer una diferenciación entre la “terneza inicial” de la carne; que depende principalmente del largo del sarcómero, el contenido y estructura de tejido conectivo y el contenido de grasa intramuscular (Soria y Corva, 2004); y por otro lado, la “terneza final”, que resulta de un balance entre dos procesos opuestos: uno que la reduce debido a un reforzamiento de la unión actino-miosina y al acortamiento del sarcómero durante las primeras 24 horas, y otro que produce el aumento de la terneza, debido a un debilitamiento de la unión de proteínas miofibrilares, asociado a un proceso de proteólisis (Dransfield 1994, Soria y Corva 2004).

Las diferencias entre terneza final e inicial dependerán principalmente del tiempo de almacenamiento, que - a su vez - se asocia a estrategias de comercialización de cada mercado. El enternecimiento post-mórtem ocurriría en dos etapas: una rápida, provocada por la degradación de las proteínas responsables de mantener la estructura del músculo y una lenta, atribuida a una desnaturalización del tejido conectivo intramuscular (Takahashi, citado por Soria y Corva, 2004). No obstante, la magnitud del proceso de proteólisis post-mórtem, sería - en gran medida - la mayor responsable de la variación de la terneza de la carne (Koochmaraie et al., 1994).

Gran parte de los cambios en la estructura y bioquímica del músculo post-mórtem puede ser explicada por las calpaínas, pero existen otras enzimas que podrían también estar involucradas, aunque jugando un rol menor (Pascale Baron et al., 2004).

La degradación de las proteínas musculares es producida por tres sistemas de enzimas y sus cofactores: las catepsinas lisosomales, el sistema de la ubiquitina proteosomal y el sistema calpaínico y su inhibidor la calpastatina, que en el animal vivo, participan en el crecimiento, atrofia y remodelación del tejido muscular (Oddy et al., 2001).

2.3.4. El Sistema Enzimático Calpaínico

2.3.4.1. Descripción

De todos los sistemas proteolíticos endógenos presentes en el músculo esquelético, parece ser que el único que participa en el “enterneamiento” de la carne; es el sistema enzimático proteolítico conocido como calpaínico, el cual es calcio dependiente (Teira, 2004).

El sistema enzimático calpaínico posee tres componentes: la μ -calpaínas, la m-calpaínas, y un inhibidor específico de la actividad de los dos anteriores, la calpastatina (Dransfield 1994, Koohmaraie et al. 1994, Huf-Lonergan et al. 1995, Soria y Corva 2004, Teira 2004, Geesink et al. 2006).

Existen además otras calpaínas, como la calpaína III que participa en la degradación de las proteínas, provocando un posible “enterneamiento” de la carne (Ilian et al., 2004a), pero su efecto es menor o directamente no participa (Geesink et al., 2005) y otras de un reciente descubrimiento del año 2000, las cuales se han denominado calpaínas: 5, 7, 10, 12, 14 y 15; pero éstas todavía no han sido muy estudiadas y se desconocen si tienen o no implicancias en la terneza de la carne (Ilian et al., 2004b).

2.3.4.2. Estructura de las calpaínas

Las calpaínas originalmente se las conocía como factor sarcoplasmático activado por el calcio (Warriss, 2003).

Las calpaínas son cistein-proteasas activadas por iones Calcio (Sorimachi et al. 1994, Geesink y Koohmaraie 1999, Soria y Corva 2004), y se conocen dos isoformas (m-calpaína y la μ -calpaína) y muchas otras de distribución específica según el tejido, entre ellas la p94 ó calpaína III en el músculo esquelético (Sorimachi et al. 1994, Soria y Corva 2004). Han sido sugeridas asociaciones significativas entre la terneza de dos músculos (*Longissimus thoracis* y *Psoas mayor*) y el nivel de expresión del gen de p94 o calpaína III en bovinos y ovinos con una correlación de 0,52 y 0,71 respectivamente (Soria y Corva, 2004).

Estas isoenzimas son heterodímeros compuestos por una sub-unidad catalítica diferente en cada una de 80 kDa, y otra común a las dos enzimas, de 30 kDa; la sub-unidad mayor tiene cuatro sitios potenciales de unión de iones Calcio, en el extremo carboxilo terminal (Dransfield 1994, Koohmaraie et al. 1994, Huf-Lonergan et al. 1995, Boehm et al. 1998, Soria y Corva 2004, Teira 2004).

La subdivisión mayor de la μ - y m-calpaínas se compone de un dominio I (de activación autolítica), el dominio II (sitio activo de cisteína), el dominio III y dominio IV (sitios de unión del calcio); mientras que la subunidad menor tiene un dominio V (interacción membrana) y IV' (sitios de unión del calcio), tal como se puede observar en la figura 15 que representa la estructura de las subunidades mayor y menor de las dos isoformas principales de las calpaínas. Aunque se trata de humanos la arquitectura de estas calpaínas, tiene una alta semejanza con otras especies (Ilian et al., 2004b).

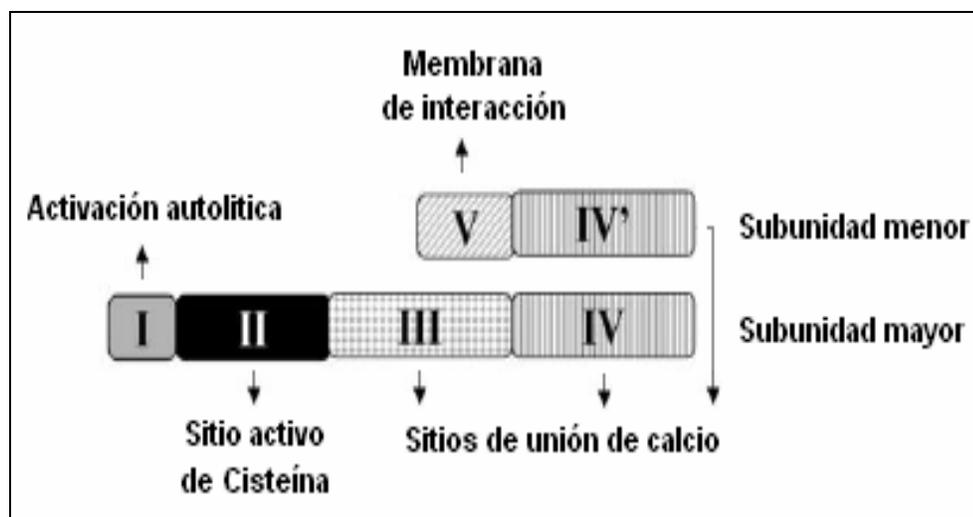


Figura 155. Diagrama de la arquitectura de la μ - y m-calpaína en humanos.

Fuente: adaptado de Ilian et al. (2004b).

La actividad de las calpaínas es absolutamente dependiente de iones calcio, pero las dos isoformas difieren en la concentración requerida para activarse *in vitro*. Mientras la μ -calpaína requiere concentraciones micromolares, la m-calpaína necesita concentraciones milimolares (Koohmaraie 1996, Boehm et al. 1998, Warris 2003, Taylor et al., citados por Soria y Corva 2004).

2.3.4.3. Rol de las calpaínas y calpastatina

Las proteínas son las responsables del mantenimiento de la integridad estructural del músculo (Olson y Parrish 1977, Huf-Lonergan et al. 1995). Durante la maduración post-mórtem, ocurre una fractura de las proteínas miofibrilares (Lawrie, 1966, Ilian et al. 2004a) y sarcoplásmicas, desnaturalizándose, en grado menor o mayor (Lawrie, 1966), y a medida que aumenta la degradación de dichas proteínas, post-mórtem, ocurre una disminución en la fuerza de corte de la carne (Huff-Lonergan et al., 1995).

A la dureza de la carne contribuyen tres tipos de proteínas del músculo: las del tejido conectivo (colágeno, elastina, reticulina, mucopolisacáridos de relleno), las de la miofibrilla (actina, miosina, tropomiosina) y las del sarcoplasma (Lawrie, 1966).

Inmediatamente después de la muerte, y antes de la aparición del *rigor mortis*, los músculos son blandos; las principales proteínas miofibrilares (actina y miosina) se encuentran disociadas; con la posterior aparición del rigor el músculo se vuelve inextensible y duro (Lawrie, 1966).

Existen varias pruebas que apoyan la importancia de las calpaínas en el ablandamiento de la carne mediante la ruptura de parte del componente miofibrilar del músculo (Huff-Lonergan et al. 1995, Warriss 2003). Pero la tasa de degradación, depende del tiempo de almacenaje y el tipo de proteína (Ilian et al., 2004a). La degradación de estas proteínas post-mórtem, es debida a la acción de enzimas endógenas; dos de las proteínas principales son la titina y la nebulina que están unidas por sus terminaciones a la Línea Z y son consideradas importantes contribuyentes de la integridad miofibrilar (Huff-Lonergan et al., 1995).

Durante el “enterneamiento” de la carne lo que se ha observado es un debilitamiento de los discos Z (ver anexo I); mediante la degradación de las proteínas; en el caso de la titina (la proteína más larga descubierta); a través del “ligamiento” de los filamentos de miosina en sentido longitudinal de las miofibrillas; mientras que la proteína nebulina (proteína insoluble) es responsable de las uniones transversales en la banda I de los sarcómeros (Huff-Lonergan et al. 1995, Teira 2004). La proteólisis de la proteína desmina, también está asociada con la mejora en la terneza de la carne durante la maduración post-mórtem, mediante la ruptura de proteína miofibrilar (Ilian et al., 2004b). Tanto la μ - y la m-calpaína son responsables de la degradación de la desmina; el lugar de ruptura de la secuencia de aminoácidos es igual para ambas; el producto de degradación es de 39-kDa y este producto es degradado también por las calpaínas (Pascale Baron et al., 2004). Entretanto, las proteínas

contráctiles, actina y miosina no parecen ser afectadas (Huf-Lonergan et al. 1995, Teira 2004).

Mediante el uso de un inhibidor de las calpaínas, se determinó la efectividad de éste a prevenir el ablandamiento de la carne, lo cual prueba la importancia de este grupo de enzimas en el “enternecimiento” de la carne, debido a una menor fragilidad de las proteínas que conectan la actimiosina al Disco-Z (ejemplo: la titina), y una reducción de la proteólisis (Hopkins y Thompson, 2001a).

La evidencia de la degradación de las grandes proteínas del sarcómero hace suponer que la actividad de la proteasa conocida como calpaína, o la actividad de su inhibidor la calpastatina, pueden ser responsables de una menor actividad proteolítica post-mórtem y un aumento en la terneza de la carne (Dransfield 1994, Huf-Lonergan et al. 1995, Hopkins y Thompson 2001b, Warriss 2003). La coincidencia entre los sustratos y productos de la proteólisis catalizada por las calpaínas y los productos normales de la degradación proteica durante la maduración de la carne, parece ser su rol principal en el proceso de “enternecimiento” de la carne (Oddy et al., 2001).

Huf-Lonergan et al. (1995), en una revisión sobre las proteínas degradadas por las calpaínas, mencionan la siguiente lista de proteínas que serían catalizadas por este grupo enzimático: titina, nebulina (en concordancia con Ilian et al., 2004a), desmina (en concordancia con Ilian et al. 2004b, Pascale Baron et al. 2004), siemina, tropolina T y la proteína costamérica vermiculina *in vitro*.

Lametsch et al. (2004), trabajando con el músculo *Longissimus dorsi* del cerdo, identificaron 9 proteínas degradadas por las calpaínas: desmina, tropomiosina $\alpha 4$, troponina T y tropomiosina $\alpha 1$ (estas ya se conocían como sustrato), actina, miosina de cadena pesada, miosina de cadena liviana I (en discordancia con Huf-Lonergan et al. 1995, Teira 2004), thioredoxin y CapZ.

Si la degradación de los mayores componentes miofibrilares (actina y miosina) son efectivamente sustratos de las calpaínas, entonces, aún una baja degradación proteica, puede tener una gran influencia en la terneza de la carne (Lametsch et al., 2004).

Existe consenso en que la μ -calpaína es la principal enzima responsable de la degradación de proteínas miofibrilares y algunas otras enzimas asociadas a estas últimas, en condiciones normales de almacenaje *post-mortem* (Dransfield 1994, Koohmaraie et al. 1994, Huf-Lonergan et al. 1995, Boehm et

al. 1998, Geesink y Koohmaraie 1999, Geesink y Koohmaraie 2000, Veiseth et al. 2001, Ilian et al. 2004c, Soria y Corva 2004, Teira 2004, Geesink et al. 2006).

Estudios de la correlación entre la expresión y/o grado de autólisis de las calpaínas y la proteólisis en los músculos ha generado evidencias conflictivas del posible rol de la calpaína III en el “enternecimiento” post-mórtem de la carne. Geesink et al. (2005), trabajando con ratones determinaron que el rol de esta calpaína es menor o nulo en la proteólisis post-mórtem del músculo.

2.3.4.4. Calpaínas y la proteólisis

La μ - y m-calpaína median la proteólisis de las proteínas miofibrilares responsables del aumento de la terneza *post-mórtem* (Veiseth et al., 2001). Debido a que durante la maduración (*post-rigor*), no hay una reducción de la longitud del sarcómero (Geesink et al., 2001); la extensión del ablandamiento es proporcional al nivel de las calpaínas y a la actividad de su antagonista (Dransfield, 1994).

La cantidad y actividad de las calpaínas varía con la instalación del *rigor mortis*, y las condiciones de almacenamiento; durante el crecimiento del animal, el nivel de calpaínas aumenta hasta el momento del sacrificio (Dransfield, 1994).

La relación entre la degradación de las proteínas y la mejora de la terneza no es lineal y es necesario un nivel mínimo de degradación, para que el efecto de la proteólisis tenga un efecto mensurable sobre la terneza de la carne (Koohmaraie et al., 1996).

La “tiernización” de la carne comienza cuando la μ -calpaína es activada (Dransfield 1994, Wheeler y Koohmaraie 1994, Veiseth et al. 2001, Christensen et al. 2004), normalmente, con un pH cercano a 6,3 (Dransfield 1994, Wheeler y Koohmaraie 1994), o aproximadamente 6 horas después del sacrificio, mejorando la terneza conforme continúa aumentando la actividad de la calpaína, tal cual se muestra en la figura 16 (Dransfield, 1994).

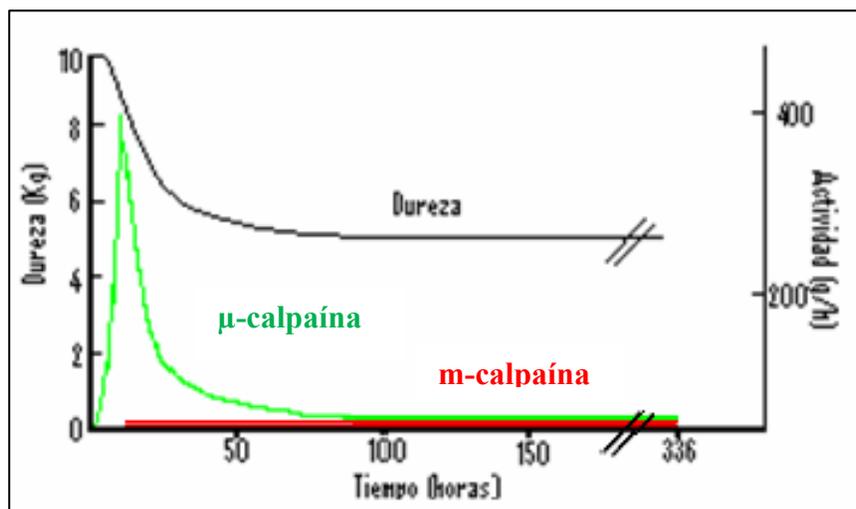


Figura 16. Ablandamiento del músculo *Longissimus dorsi*, por acción de las calpaínas y la relación con su actividad durante la maduración post-mórtem.

Fuente: adaptado de Dransfield (1994).

La proteólisis es muy rápida en las primeras 24 horas post-mórtem en los músculos ovinos (Hopkins y Thompson, 2001b). La titina es totalmente degradada a los 14 días, la mayoría antes de los 7 días (Huff-Lonergan et al., 1995). Durante el primer día no hay fragmentación de la nebulina (Ilian et al., 2004a), mientras que después del 2º y 3º día ya se ha degradado el 70 y 97 % de éstas, respectivamente (Ilian et al., 2004a) y a los 7 días no es detectable (Huff-Lonergan et al., 1995). La desmina también tiene una muy baja degradación en las primeras 24 y 48 horas post-mórtem; a partir del día 3 comienza la rápida degradación (33 %) y para el día 5 se ha degradado más del 70 % de ésta (Ilian et al., 2004a).

Aproximadamente a las 16 horas la m-calpaína es activada y ocurre una mayor “tiernización” de la carne; cuando ambas enzimas (μ y m-calpaína) son activadas, la actividad de ambas es progresivamente menor a medida que aumenta el período de almacenamiento, tal cual se muestra en la figura 16. Gran parte del ablandamiento ocurre por el efecto de la μ -calpaína; aproximadamente el 50% del ablandamiento ocurre antes de las primeras 24 horas, aunque la magnitud del efecto es proporcional al nivel de las calpaínas (Dransfield, 1994). Aunque, ciertamente hay diferencias en la tasa de degradación de las proteínas por diferentes factores como la edad y el sexo (Huff-Lonergan et al., 1995).

Delgado et al. (2001), determinaron trabajando con diferentes músculos de ovejas con presencia y ausencia del gen *callipyge*, que la actividad de la m-calpaína no cambió en los músculos *Biceps femoris* y *Intraspinalis*, o decreció en forma sutil en el músculo *Longissimus dorsi* durante el almacenamiento post-mórtem. Por el contrario la actividad de la μ -calpaína decreció cerca de cero, o a cero después de 10 días post-mórtem en todos los músculos para ambos grupos de ovejas.

En concordancia con estos resultados, Boehm et al. (1998), realizando un estudio en el músculo *Semimembranosus*, durante los primeros 7 días post-mórtem, determinaron que la m-calpaína cambiaba en forma sutil durante los primeros días post-sacrificio (tasa de descenso: 37 %, tras 7 días de maduración). Sin embargo, la actividad de la μ -calpaína decrecía rápidamente (80 % el primer día), llegando a una tasa de descenso del 96 % a los 7 días de almacenamiento. Estos resultados se muestran en la figura 17.

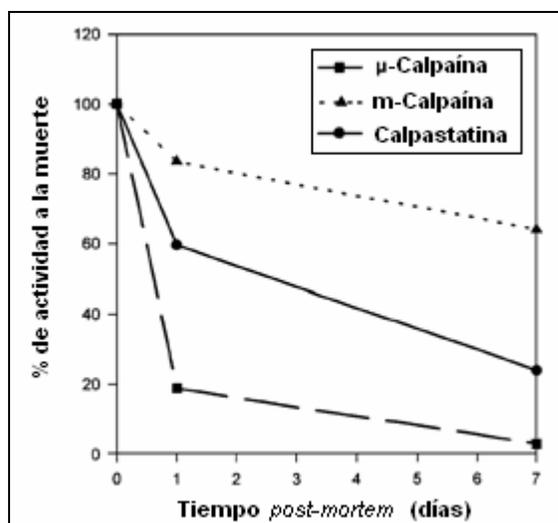


Figura 17. Cambios en la actividad de la μ -calpaína, m-calpaína y calpastatina durante la maduración.

Fuente: Boehm et al. (1998).

Camou et al. (2007), también encontraron una rápida reducción de la actividad proteolítica de la μ -calpaína durante la maduración post-mórtem, (menos del 4 % de la actividad original a la muerte, es detectada a las 48 horas post-sacrificio). La actividad de la m-calpaína también decrecía durante el almacenamiento post-mórtem.

No obstante, en porcinos, vacunos y ovinos, el nivel de las calpaínas y de la calpastatina parecería estar fuertemente influenciados por el tipo de músculo (Dransfield, 1994). Aunque, Delgado et al. (2001), no encontraron diferencias en la tasa de descenso de la actividad de la μ -calpaína entre diferentes músculos, en ovinos con o sin la presencia del gen *Callipyge*. Sin embargo, Camou et al. (2007), sí encontraron diferencias entre músculos en la disminución de la actividad de la μ - y también de la m-calpaínas.

En las especies en que la m-calpaína es activada en un momento posterior, la μ -Calpaína es la mayor responsable de la proteólisis post-mórtem. Esta observación excluye de un rol mayor, a cualquier otro miembro de la familia de las calpaínas o de algún otro sistema proteolítico, en la proteólisis post-mórtem de las proteínas del músculo (Geesink et al., 2006).

La calpaína III es activada posteriormente al sacrificio y un 40 a un 85 % de ésta, se pierde entre el 1º y 2º día post-mórtem (Ilian et al., 2004a). Geesink et al. (2005), no encontraron degradación de desmina, nebulina, distrofina, vermiculina y tropolina T.

Según Delgado et al. (2001), la actividad de la calpastatina es mayor en los músculos de los ovinos con la presencia del gen *Callipyge*. La actividad de la calpastatina decreció en todos los músculos independientemente del genotipo durante la maduración. La tasa de descenso en los músculos *Biceps femoris*, *Longissimus dorsi* e *Infraespinatus* independientemente de la presencia del gen que provoca la hipertrofia muscular, post-mórtem es lenta - en especial - en las primeras 24 horas (Delgado et al., 2001). Durante la maduración, de acuerdo a estos autores, se degrada el polipéptido de 125-kDa de la calpastatina. Boehm et al. (1998), encontraron también un decrecimiento sustancial de la actividad de la calpastatina (60% el primer día y 30 % a los 7 días), aunque en forma muy variable (17-67 % el primer día y 15-38 % a los 7 días). La calpastatina no sólo disminuye la tasa de degradación de las proteínas, sino que también limita el alcance de la proteólisis (Geesink y Koohmaraie, 1999).

2.3.4.5. Calpaínas y su autólisis

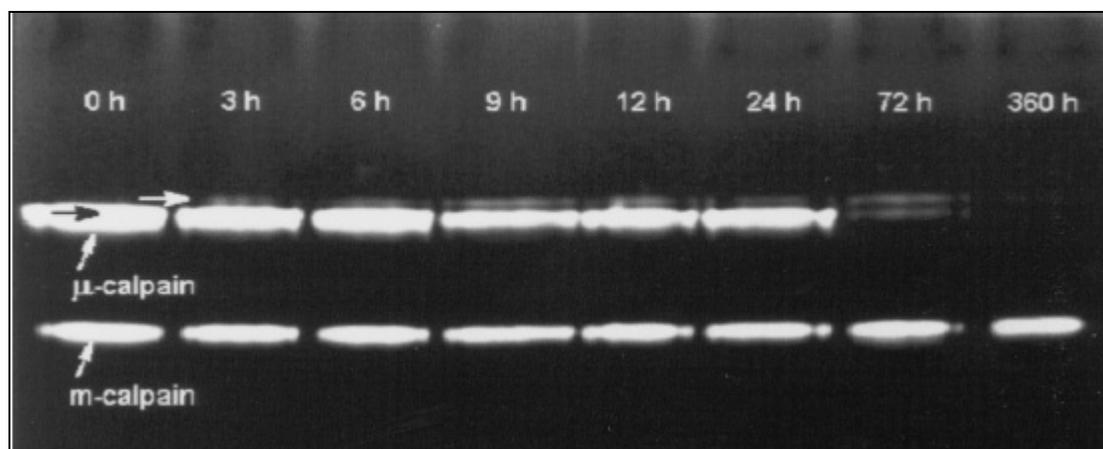
La cinética de la proteólisis de la nebulina está altamente correlacionada con la autólisis de la sub-unidad de la μ -calpaína. Por lo tanto esta enzima participa en la proteólisis de la nebulina, la cual por su proteólisis juega un rol muy importante en la terneza de la carne (Ilian et al., 2004a).

Con una adecuada concentración de calcio, la autólisis inicialmente reduce la masa de la subunidad de 80-kDa de la μ -calpaína a 76-kDa y la

subunidad de 28-kDa a 18-kDa (Geesink y Koohmaraie 2000, Veiseth et al. 2001, Delgado et al. 2001). La autólisis convierte a la subunidad de 80-kDa de la m-calpaína a 78-kDa, pero los cambios son muy pocos durante la maduración (Boehm et al., 1998).

La autólisis de la μ -calpaína inicialmente reduce la masa de la subunidad de 80-kDa a 76-kDa, pasando por una etapa intermedia de 78-kDa (Geesink y Koohmaraie 2000, Delgado et al. 2001). La autólisis parcial, disminuye el requerimiento de calcio para la actividad proteolítica, pero no afecta su actividad específica (Geesink y Koohmaraie 2000, Veiseth et al. 2001).

Veiseth et al. (2001), llevaron a cabo un estudio en carne ovina con diferentes tiempos de maduración post-mórtem y determinaron, observando corridas de bandas de electroforesis, que mientras la μ -calpaína tenía una pérdida gradual, la m-calpaína resultó muy estable durante los primeros 15 días post-mórtem, tal cual se observa en la figura 18. Estos resultados fueron confirmados por Boehm et al. (1998), ya que probaron que la subunidad 80-kDa de la m-calpaína no es degradada durante la maduración en un período de 7 días; por lo tanto la cantidad de la subunidad de 80-kDa de la m-calpaína parece ser constante durante la maduración.



La flecha negra indica la proteína nativa y la blanca horizontal, la autólisis de la μ -calpaína.

Figura 168. Bandas de electroforesis de la degradación de la μ - y m-calpaína del músculo *Longissimus lumborum* de corderos durante diferentes períodos de maduración (0, 3, 6, 9, 12, 24, 72 y 360 horas).

Fuente: Veiseth et al. (2001).

La actividad autolítica de la μ -calpaína es baja después de 48 horas post-mórtem (Camou et al., 2007). Geesink y Koohmaraie (2000), probaron que la inestabilidad de la autólisis de la μ -calpaína es la mayor causa de disminución de actividad de ésta durante el período post-mórtem.

Entre el 1º y 2º día post-mórtem, alrededor de 25 y 75% de la calpaína III, respectivamente, se pierde debido a su autólisis (Ilian et al., 2004a).

La actividad de la μ -calpaína al someterse a autólisis - en ausencia de iones Calcio - fue dependiente de las fuerzas iónicas (Geesink y Koohmaraie, 2000).

2.3.4.6. Efecto de la temperatura

La temperatura es el factor más importante que gobierna los niveles de las calpaínas y de su inhibidor; el *rigor mortis* es completado y la temperatura y el tiempo son las únicas variables que controlan el efecto de la maduración (Dransfield, 1994).

El efecto de la temperatura es especialmente importante; de 0-40 °C la velocidad de actuación aumenta más del doble cada 10 °C de elevación de la temperatura; por lo cual manteniendo la carne a temperaturas elevadas *post-rigor*, puede provocarse un rápido ablandamiento. Por ejemplo a 10 °C la maduración de la carne de ternera puede llevarse a cabo adecuadamente en 4 días, comparativamente a los 10 días que tardaría más o menos a 1 °C para alcanzar resultados similares. No obstante, la carne está constituida por proteínas, lípidos y agua, constituyéndose en un excelente sustrato para el crecimiento microbiano (Cano, 1991), siendo probable que altas temperaturas puedan repercutir negativamente, conduciendo al deterioro de la carne (Warriss, 2003).

Joseph (1996), observó que iones calcio eran liberados debido al frío (temperaturas bajo cero), provocando la estimulación de la acción proteolítica de las fibras musculares, pero se estimulaba también la contracción de los músculos.

Los procesos de proteólisis son retrasados por el frío (Cano, 1991). Kristensen et al. (2006), observaron que el almacenamiento del músculo *Longissimus dorsi* a temperaturas entre -20 y -80 °C durante un período de 2 o 3 semanas, no tenía efecto en la actividad de las calpaínas, así como tampoco en la de la calpastatina, (comparando su actividad con la carne no congelada). Por lo cual, se puede concluir que estas enzimas son estables durante el almacenaje en condiciones de congelación.

2.3.4.7. Efecto del pH

Es importante conocer el efecto del pH en la actividad proteolítica de la μ - y m-calpaína presente en el músculo a diferentes tiempos de almacenaje (Camou et al., 2007). Lo normal es una bajada del pH en el músculo durante las primeras horas de almacenamiento de 6,5 a 5,5 en las primeras 24 horas post-mórtem (Ruiz de Huidobro et al., 2003).

La incubación de fibras del músculo *Semitendinosus* de vaquillonas Holando junto a μ -calpaína a pH a 7,5 resultó en una línea-Z más delgada y una reducción de la fuerza entre las fibras, cuando éstas eran comparadas con las no incubadas en las primeras 24 horas post-mórtem (Christensen et al., 2003).

La activación de la μ -calpaína ocurre cuando el pH cae a valores de 6,2 - 6.1 (Hopkins y Thompson, 2001b). La actividad de la μ -calpaína es mayor a pH 6,5 que a pH 7,5 o 6,0 (Maddock et al., 2006). En un rango de pH entre 6,5 a 7,5 tiene algunos efectos en la actividad de la μ -calpaína y ningún efecto en la actividad de la m-Calpaína en las primeras 24 horas post-mórtem (Camou et al., 2007).

Cuando la carne tiene un pH entre 7,5 y 6,5 la actividad de la μ -calpaína se reduce entre un 30 y 60% de la presente al momento del sacrificio en los primeros 5 días post-mórtem; a pH 5,8 la actividad de la μ -calpaína decrece cerca de 0 antes de las 24 horas post-mórtem y continúa con igual actividad a los 5 días; mientras que la actividad de la m-calpaína se mantiene prácticamente incambiada durante los primeros 5 días post-mortem en el rango de 6,5-7,5 (Camou et al., 2007). Sin embargo, Maddock et al. (2006), encontraron una mayor actividad de la m-calpaína a pH 7,5 que a pH 6,5; sin observarse actividad de ésta a pH 6. La calpastatina inhibió la actividad de la μ -calpaína y m-Calpaína para todos los pH entre 7,5 y 6,0 (Maddock et al., 2006).

2.3.4.8. Efecto del Calcio

A medida que se va instaurando el rigor en el músculo, el nivel de iones calcio se incrementa, y este incremento de la concentración de iones, provoca un incremento de la solubilización de las proteínas (Hopkins y Thompson, 2002) y del ablandamiento de la carne (Wheeler y Koohmaraie, 1994). En la figura 19 se esquematiza este proceso.

El incremento de calcio libre está correlacionado con una mejora en la terneza de la carne durante la maduración post-mórtem (Geesink et al., 2001). En este sentido, Geesink y Koohmaraie et al. (1999), realizaron un experimento que estudiaba la incubación de las miofibrillas en una solución buffer

conteniendo calcio y obtuvieron como respuesta una rápida solubilización de varias de las proteínas; sin embargo prolongar la incubación en la solución, no provocó incrementos en el grado de solubilización.

Por otro lado, al incrementar la concentración de calcio, la actividad de la calpastatina decrece, detectándose un aumento de la actividad de la μ -calpaína aproximadamente a las 9 horas post-mórtem en novillos y a las 18 horas post-mórtem en cordero (Wheeler y Koohmaraie, 1994).

La activación de la μ -calpaína - mediada por el calcio - no sólo degrada otras proteínas, sino que también su autólisis (Geesink y Koohmaraie, 2000).

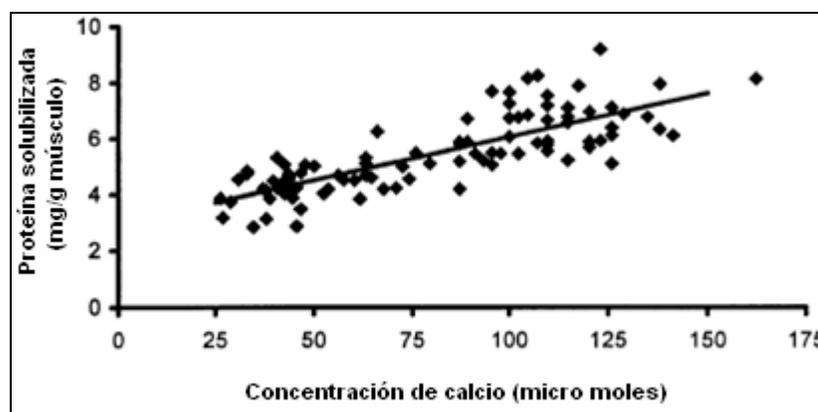


Figura 17. Efecto de la concentración de Calcio sobre la cantidad de proteína solubilizada en el músculo.

Fuente: adaptado de Hopkins y Thompson (2002).

Ambas calpaínas requieren del calcio para su actividad; la μ -calpaínas - para su funcionamiento - requiere bajas concentraciones de iones calcio no retenidas en el retículo sarcoplásmico o en las mitocondrias. Mientras que la m-calpaínas requieren concentraciones de iones calcio más elevadas (Dransfield 1994, Koohmaraie et al. 1994, Huf-Lonergan et al. 1995, Warriss 2003, Soria y Corva 2004, Teira 2004). Mientras la μ -calpaína requiere concentraciones de iones calcio en torno a 50-100 μ M; la m-calpaína requiere concentraciones de 100-200 mM (Warriss, 2003). La concentración de calcio requerida para lograr la máxima actividad de la μ -calpaína es tan sólo de 0,5 a 2,0 mM; vale decir que la concentración de calcio en el músculo post-mórtem, es suficiente para lograr la máxima actividad autolítica. Sin embargo, para lograr la máxima actividad al sacrificio y a los 7 días post-mórtem de la m-calpaína es de 330 y 350 mM de iones calcio, respectivamente (Boehm et al., 1998).

En la figura 20 se presentan parte de los resultados obtenidos en un experimento que estudió cómo variaba la concentración de calcio libre durante la maduración de carne vacuna.

A los 40 minutos post-mórtem la concentración de calcio en el sarcoplasma era de 16 μM , llegando a un máximo de 210 μM a los 4 días post-mórtem. Esta concentración de calcio libre estuvo en el rango de 210-230 μM en todas las carnes estudiadas (vacunos, conejos, pollos y cerdos; Ji y Takahashi, 2006). Por lo tanto, la maduración tiene efecto en la concentración de calcio libre, y ésta se incrementa a medida que transcurre la maduración del músculo (Geesink et al. 2001, Hopkins y Thompson 2001b).

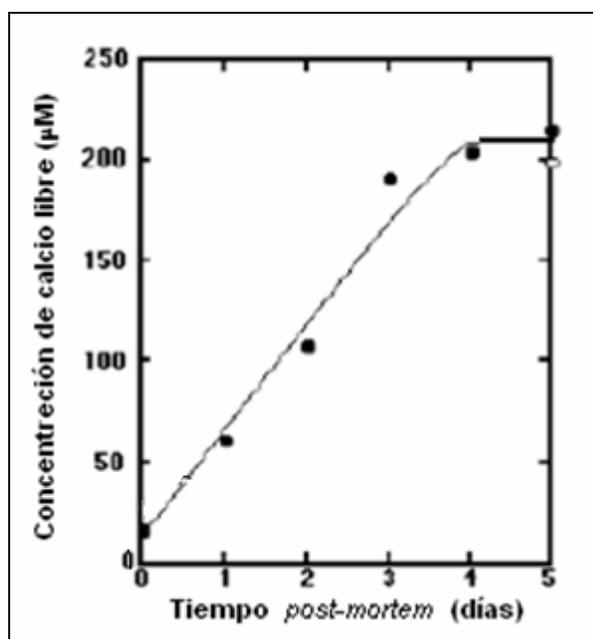


Figura 18. Cambio en la concentración de Calcio libre durante la maduración post-mórtem de carne vacuna (novillos Japanese Blacky, de 30 meses de edad).

Fuente: adaptado de Ji y Takahashi (2006).

El incremento de la concentración de calcio libre en el sarcoplasma, es causado por la liberación de fosfolípidos desde la membrana del retículo sarcoplasmático y por la pérdida de ATP (Ji y Takahashi, 2006). Después del agotamiento del ATP y de la instauración del *rigor mortis*, los sistemas de membrana del retículo sarcoplasmático y de las mitocondrias, no son capaces de seguir absorbiendo o secuestrando iones Calcio; por lo que el aumento en la

concentración de iones Calcio activa las μ -calpaínas permitiendo el inicio de la proteólisis (Warriss, 2003).

Normalmente las calpaínas son inhibidas mediante su unión a las calpastatinas, pero dicha inhibición es impedida por el Calcio (Warriss, 2003).

La caída del pH, aumenta la concentración de Calcio (Hopkins y Thompson, 2001b). Cuando el pH cae a niveles de 5,5, el nivel de Calcio es aproximadamente de 110 μ M, lo cual – y de acuerdo a lo señalado previamente – es suficiente para activar la μ -calpaína (Hopkins y Thompson, 2001b). A partir de las 3 horas post-mórtem, la concentración de Calcio es suficientemente elevada como para que se comiencen a detectar cambios en la actividad de la μ -calpaína (Veiseth et al., 2001). Pero la m-calpaína no parece ser activada, debido a que los niveles de Calcio libre no soportan la teoría de que ésta participa en el “enterneamiento” de la carne post-mórtem (Hopkins y Thompson 2001b, Veiseth et al. 2001, Ji y Takahashi 2006). Sin embargo, Kuber et al. (2004), encontraron que entre el día 3 y 7 el nivel de calcio es de 300 y 800 μ M respectivamente, lo cual según estos autores es suficiente para activar la m-calpaína.

Las concentraciones menores a 200 μ M de Calcio son - probablemente - causadas por una suficiente absorción de iones Calcio libres por parte de las membranas (Ji y Takahashi, 2006).

Christensen et al. (2004), realizaron un experimento probando diferentes concentraciones molares de Calcio (0,1; 1 y 10 mM), a dos valores de pH (5,6 y 7,5), y madurando la carne durante 8 días a 2 °C, encontraron que las calpaínas cuando el pH se mantenía en torno a 5,6 por 8 días a 2 °C no generaban ruptura de la fibras independientemente de la concentración de calcio. No obstante, cuando el pH se mantuvo a 7,5 - por igual cantidad de tiempo - observaron una importante ruptura de las fibras cuando la concentración era de 1 o 10 mM. Estos resultados de acuerdo a los autores, soportaría la hipótesis de que la degradación fibrilar por las calpaínas a un elevado pH temprano durante la maduración post-mórtem, es un importante contribuyente de la terneza de la carne.

La actividad de la μ -calpaína no explica en total los cambios en las propiedades mecánicas de los músculos post-mórtem (Christensen et al., 2003). Muchos de los procesos asociados con el ablandamiento, y especialmente el papel y control de las calpaínas, no han sido aún completamente entendidos, y se han postulado la existencia de otros mecanismos de ablandamiento que no impliquen a las calpaínas (Warriss, 2003).

Por ejemplo, el calcio podría - mediante la estimulación de la concentración muscular *pre-rigor* - dañar mecánicamente la estructura de la carne y generar una mayor terneza; igualmente el calcio podría provocar la ruptura de los lisosomas y la liberación de las captepsinas, que en ese caso - quizás - podrían causar cierto grado de lisis proteica (Warriss, 2003). En este sentido, Ji y Takahashi (2006), determinaron que la contribución de la μ -calpaína y m-calpaína en el proceso de “tiernización” de la carne es muy baja y apuntalan la controversial teoría de la “tiernización” por iones calcio. Mientras que Geesink et al. (2001), sostienen que el aumento del calcio libre no es la causa directa del aumento de la terneza, sino un efecto indirecto debido al efecto de éste, sobre el sistema calpaínico). El experimento de Christensen et al. (2003), prueba que los iones calcio por sí solos no afectan las propiedades de las fibras del músculo, conforme al incubar fibras con iones Calcio a diferentes concentraciones (100 μ M vs 200 μ M) a pH 7,5, no encontraron diferencias significativas en los valores de ruptura de resistencia de las fibras.

En síntesis y a modo de diagrama representativo del proceso de “tiernización” de la carne post-mórtem, en la figura 21, se presenta un esquema de dicho proceso.

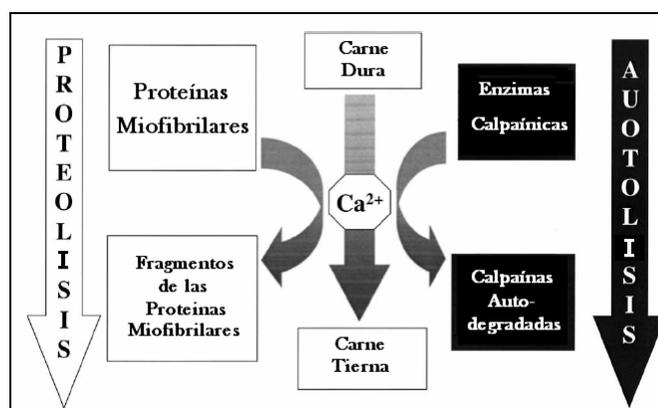


Figura 19. Esquema del proceso bioquímico que involucra a las calpaínas en el aumento de la terneza de la carne post-mórtem.

Fuente: adaptado de Ilian et al. (2004a).

Carne más tierna puede ser obtenida induciendo la activación de las calpaínas a través del incremento inicial de iones Calcio intercelular (Dransfield, 1994). De esta forma, tempranas adiciones de iones calcio (exógeno), deberían incrementar la terneza de la carne. Para obtener la máxima terneza, el nivel de calcio debe ser “levantado” lo antes posible después del sacrificio (Dransfield 1994, Koomaraie et al. 1994). En un apartado posterior, se presentarán y

discutirán resultados de experimentos que evaluaron la adición de calcio y su efecto sobre la terneza instrumental y sensorial de la carne.

2.3.5. Factores que afectan la terneza

2.3.5.1. Clasificación

Una pregunta muy común de los consumidores a los técnicos que trabajan en la Ciencia de la Carne es: ¿cómo saber - con cierto grado de exactitud - si la carne que se va a comprar resultará tierna? Esta interrogante no admite una única respuesta, en tanto y en cuanto, la terneza final de la carne depende de muchísimos factores (URUGUAY. INAC, 2008d). Mientras algunos factores son inherentes al animal y manejo ante-mórtem, otros son atribuibles a tecnologías aplicadas post-mórtem (Dransfield 1994, Teira 2004, Bianchi 2005a, URUGUAY. INAC 2008d).

2.3.5.2. Factores ante-mórtem

Los factores biológicos que inciden en la terneza de la carne son: genéticos (Sañudo et al. 1998, Peachey et al. 2002, URUGUAY. INAC 2008e), especie, categoría, edad, sexo (Peachey et al. 2002, URUGUAY. INAC 2008e) y el músculo en particular (Gruber et al. 2006, URUGUAY. INAC 2008e). La alimentación del animal también influye indirectamente en la terneza, entre otras cosas, posibilitando la obtención de animales más jóvenes para el sacrificio (URUGUAY. INAC, 2008e).

El estrés - inmediatamente anterior al sacrificio - puede aumentar los niveles de calpastatina (Warriss, 2003), como consecuencia disminuir la actividad de las calpaínas y generar una carne más dura. Los factores que pueden causar el mismo pueden ser a modo de ejemplo: movimientos prolongados de tropa, la mezcla de animales de diferentes categorías o de diferentes establecimientos, períodos de transporte prolongados y períodos de espera previo al sacrificio muy largos (Thompson, 2004).

2.3.5.3. Factores post-mórtem

Estos factores se agrupan en tecnológicos; destacándose dentro de éstos: la suspensión de la canal durante el enfriado (Hopkins y Thompson 2001a, URUGUAY. INAC 2008e), la velocidad de enfriado de la carne, la aplicación de estimulación eléctrica, la “tiernización” mecánica, mediante el corte de las fibras con agujas o laminillas metálicas, el uso de enzimas (por ejemplo: papaína), el método y la intensidad de cocción (URUGUAY. INAC, 2008e) y el período de maduración (Gruber et al., 2006).

Por otro lado, el incremento de Calcio en el músculo, con el fin de incrementar la actividad de las calpaínas, es otra forma de incidir sobre la ternura de la carne. Las maneras de introducir el Calcio son por vía oral (gel de Calcio o vitamina D₃); o intravenosa, inyectando el elemento directamente en los músculos.

En la presente revisión y debido a los objetivos del trabajo, se hará - en los siguientes apartados - una profunda discusión de la evidencia nacional e internacional que vincula al efecto de la maduración y del agregado de Calcio (en sus distintas formas), sobre la calidad de la carne en general y la ternura en particular.

2.3.6. Maduración de la carne

Habitualmente transcurre un período de tiempo entre el sacrificio del animal y el consumo de la carne (Warriss, 2003). El proceso que consiste en mantener la carne fresca a una temperatura superior al punto de congelación, se conoce como maduración (Lawrie, 1966); es conocida también como “envejecimiento” o almacenamiento de la carne.

Luego del sacrificio de los animales, los músculos sufren una serie de modificaciones que repercuten sobre las cualidades organolépticas de la carne y en particular sobre la ternura (URUGUAY. INAC, 2008e).

Durante este tiempo ocurren significativos cambios bioquímicos en el músculo (Warriss 2003, URUGUAY. INAC 2008e): acidificación, desarrollo del *rigor mortis* y más tarde, la resolución de un proceso gradual del rigor (Warriss, 2003) y el ablandamiento de la carne (Lawrie 1966, Cano 1991, Warriss 2003, URUGUAY. INAC 2008e).

La maduración no afecta la dureza de la carne que se atribuye al colágeno (URUGUAY. INAC, 2008e). No obstante, la carne está sometida a una actividad enzimática endógena que actúa sobre las proteínas (Cano 1991, URUGUAY. INAC 2008e), produciendo carne más tierna y provocando un cambio de sabores (Cano, 1991).

En la figura 22 se presenta el efecto de la maduración sobre la ternura instrumental del músculo *Longissimus dorsi*.

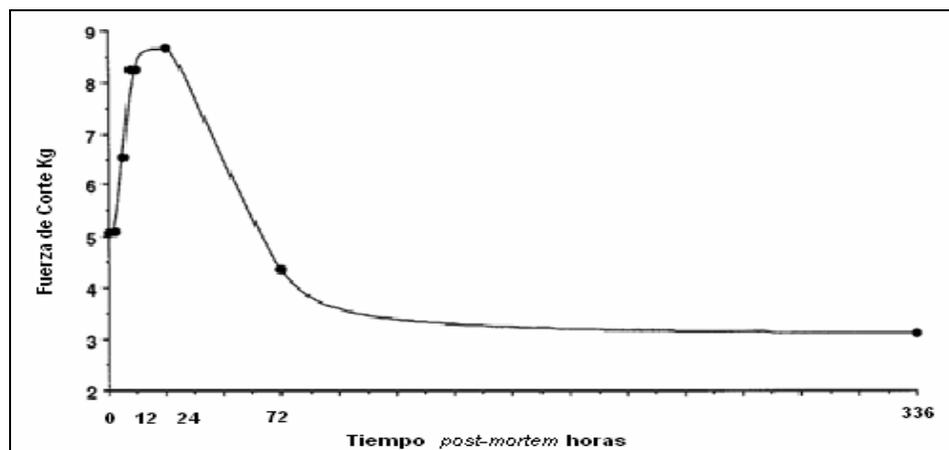


Figura 20. Cambios en la fuerza de corte (Warner-Bratzler) del músculo *Longissimus dorsi* de corderos durante la maduración.

Fuente: adaptado de Wheeler y Koohmaraie (1994).

En las primeras 24 horas la longitud del sarcómero disminuye, provocando el endurecimiento de la carne, siendo este fenómeno la principal causa del endurecimiento del músculo (Wheeler y Koohmaraie 1994, Koohmaraie et al. 1996).

El acortamiento del sarcómero comienza inmediatamente después de la muerte provocando una fase de endurecimiento, coincidiendo ésta o seguida de la proteólisis durante la maduración que incrementa la ternura como se observa en la figura 20 (Wheeler y Koohmaraie 1994, Koohmaraie et al. 1996).

La maduración es un fenómeno que depende de la temperatura; puede ser acelerado aumentándola. No obstante, para evitar el crecimiento microbiano es absolutamente indispensable reducir la temperatura de la carne inmediatamente después del acondicionamiento de la canal, para lo cual se recomienda emplear una temperatura en torno a los 4 °C y una humedad relativa entre el 85 y 95 % (Cano, 1991).

Durante la maduración la aceptabilidad de la carne aumenta, hecho altamente correlacionado con la mejora en la ternura; $r = 0,87$ (2días), $0,65$ (7días), $0,54$ (14 días) (Byrne et al., 2000).

A igual período de maduración, el músculo ovino presenta mayor fragmentación de la miofibrilla que el bovino (Hopkins et al., 2000). Resultando

la carne ovina más tierna hasta los 14 días post-mórtem, sin cambios posteriores significativos (Wheeler y Koochmaraie, 1994).

En los cuadros 5 y 6, se presentan resultados de experimentos nacionales y extranjeros que estudiaron el efecto de la maduración sobre la calidad de la carne bovina (cuadro 5) y ovina (cuadro 6).

Cuadro 5. Resumen de resultados experimentales que estudiaron el efecto de la maduración sobre la calidad de carne vacuna.

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Byrne et al. (2000)	Vaquillonas 47	<i>Longissimus dorsi</i>	Maduración por 2, 7 o 14 días.	La fuerza de corte disminuyó a medida que el período de maduración se incrementó (7,21; 5,08 y 3,80 kg, respectivamente) y se observó una alta correlación de estos resultados, con los obtenidos por el panel sensorial ($r > 50\%$ para los 3 períodos de maduración).
Hanson y Calkins (2001)	Novillos 10	<i>Longissimus dorsi</i>	Después de la faena el músculo se mantuvo a 30 °C durante 6 h y luego a 0 °C; ó 0 °C durante todo el período. Maduración por 1, 7 ó 14 días.	El pH final no varió; lo que sí varió fue la tasa de descenso; en forma más lenta en el de menor temperatura.nLa fuerza de corte resultó mayor para todos los períodos de maduración, cuando la carne se mantuvo a mayor temperatura, frente al tratamiento de enfriado convencional. La fuerza de corte no mostró diferencias significativas entre el día 7 y 14, disminuyendo la terneza instrumental durante los primeros 7 días.

Cuadro 6. Resumen de resultados experimentales que estudiaron el efecto de la maduración sobre la calidad de carne vacuna (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Jiménez de Aréchaga et al. (2002)	Novillos y Vacas 464	<i>Longissimus dorsi</i>	Los animales se separaron en grupos según su sexo y dentición (0, 2, 4, 6 ó 8 dientes). Maduración por 7 ó 14 días.	La fuerza de corte disminuyó a los 14 días, respecto a los 7 días de maduración del tratamiento control. Al incrementarse el período de maduración, se observó también una disminución en la variabilidad de la fuerza de corte. A los 7 días de maduración, el 78 % de los animales mostraron valores de fuerza de corte menores a 5 KgF; mientras que a los 14 días, el 90 %. La interacción sexo por tiempo de maduración, resultó significativa: a los 7 días de maduración los machos mostraron valores de fuerza de corte menores que las hembras), pero estas diferencias entre sexos desaparecieron a los 14 días de maduración. La edad de los animales, independientemente de los tiempos de maduración evaluados, no afectó la terneza instrumental de la carne.

Cuadro 7. Resumen de resultados experimentales que estudiaron el efecto de la maduración sobre la calidad de carne vacuna (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Brewer et al. (2003)	Cruza Novillos 76	<i>Longissimus dorsi</i>	Se partió de dos dietas diferentes: granos o pasturas y luego ambos grupos, se alimentaron 93 días pre-sacrificio con grano. Maduración por 7, 14 ó 21 días.	La maduración redujo la fuerza de corte en ambos sistemas de alimentación, aunque ésta resultó menor, independientemente del período de maduración, en los animales alimentados en base a granos. Todas las características sensoriales estudiadas (jugosidad, flavor y terneza) fueron mayores en los animales de concentrado frente a concentrado más pastura, entre 7 y 14 días <i>post-mortem</i> .
Ruiz de Huidobro et al. (2003)	(Limousin, Charolais o Pardo Suizo) x Avileña ó Negra Ibérica Vaquillonas y Toros 17	<i>Longissimus thoracis</i>	Maduración por 1, 3 ó 6 días.	No se encontraron diferencias en la fuerza de corte entre vaquillonas y toros sólo hasta el día 3 de maduración. Conforme transcurrió la maduración, disminuyó la fuerza de corte, excepto en los toros, que a los 3 días aumentó). El panel sensorial valoró más tierna la carne de las vaquillonas frente a la de los toros, pero sólo con 1 día de maduración; conforme al transcurrir ésta la carne de ambos sexos se homogeneizó.

Cuadro 5. Resumen de resultados experimentales que estudiaron el efecto de la maduración sobre la calidad de carne vacuna (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Kuber et al. (2004)	Wagyu, Limousin y Wagyu x Limousin	<i>Longissimus dorsi</i>	Dos tipos diferentes de dieta (0 ó 6 % de aceite de girasol). Maduración por 1, 3, 7, 14, 28 ó 56 días.	<p>El tipo de dieta no afectó la terneza instrumental o sensorial; tampoco hubo efecto sobre las pérdidas por cocción, ó la palatabilidad de la carne.</p> <p>La actividad de calpaínas, tampoco resultó afectada por la dieta o el biotipo animal evaluado. Tampoco, afectaron la concentración de calcio libre en músculo. Sin embargo, el tiempo de maduración, sí afectó la concentración de calcio, independientemente del biotipo animal, resultando en concentraciones mayores a 300 µM de Calcio a los 3 días post-mórtem.</p> <p>A medida que transcurrió la maduración, la fuerza de corte disminuyó.</p> <p>El biotipo Wagyu presentó la carne más tierna en todos los tiempos de maduración, exceptuando en el día 1 de maduración frente a la craza; mientras que el biotipo Limousin presento la carne más dura; presentando la craza Wagyu x Limusin valores de terneza intermedios.</p> <p>La correlación entre la fuerza de corte a 1 y 14 días de maduración y los valores asignados por el panel sensorial fue media y negativa ($r = -0,45$ y $r = -0,51$, respectivamente).</p>

36

Cuadro 5. Resumen de resultados experimentales que estudiaron el efecto de la maduración sobre la calidad de carne vacuna (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Aferri et al. (2005)	(Simental x Nelore) x Brangus Novillos	<i>Longissimus dorsi</i>	Dos dietas con diferentes niveles de grasa: control y 5 % de ácidos grasos. Maduración por: 1, 7 ó 14 días.	Se observó una disminución de la fuerza de corte a lo largo de la maduración. La dieta no afectó la fuerza de corte.
36				

Cuadro 5. Resumen de resultados experimentales que estudiaron el efecto de la maduración sobre la calidad de carne vacuna (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Gruber et al. (2006)	80	<i>Complexus,</i> <i>Biceps femoris,</i> <i>Gluteus medius,</i> <i>Infraespinatus,</i> <i>Longissimus dorsi,</i> <i>Psoas mayor,</i> <i>Rectus femoris,</i> <i>Semimenbraosus</i> <i>Semitendinosus,</i> <i>Serratus ventralis,</i> <i>Spinalis dorsi,</i> <i>Supraspinatus,</i> <i>Tensor faciale,</i> <i>Teres mayor,</i> <i>Triceps brachii,</i> <i>Vastus lateralis,</i> <i>Vastus medialis.</i>	Se seleccionó dos tipos de canales: USDA Select, o Premium choice. Maduración por 2, 4, 6, 10, 14, 21 ó 28 días.	Para cualquiera de los 2 sistemas de clasificación, e independientemente del músculo estudiado (excepto el músculo <i>Teres mayor</i>), conforme transcurría la maduración, a terneza instrumental aumentó. En 9 de ellos (<i>Biceps femoris, Rectus femoris, Vastus medialis, Spinalis dorsi; Supraspinatus, Tensor faciale, Semimenbranosus, Semitendinosus, Serratus ventralis</i>), la disminución resultó significativa hasta el día 21, mientras que para los otros 7 (<i>Complexus; Gluteus medius; Vastus lateralis; Longissimus dorsi; Psoas mayor; Triceps brachii; Infraespinatus</i>), la máxima terneza instrumental se registró a los 28 días de maduración. A pesar que la tasa de descenso en la fuerza de corte fue diferente para los diferentes músculos evaluados, la mayor tasa de descenso se registró entre los días 2 y 10 de maduración para la mayoría de los músculos, disminuyendo las diferencias entre los diferentes músculos, conforme la maduración transcurría. Los músculos de las canales Premium choice obtuvieron menores fuerzas de corte que las canales Select.

Cuadro 5. Resumen de resultados experimentales que estudiaron el efecto de la maduración sobre la calidad de carne vacuna (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y animales	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Stelzleni et al.(2007)	<p>Vacas Carniceras y Lecheras</p> <p>Novillos</p> <p>75</p>	<p><i>Gluteus medius,</i> <i>Infraespinatus,</i> <i>Longissimus dorsi,</i> <i>Psoas mayor,</i> <i>Rectus femoris,</i> <i>Tensor faciale,</i> <i>Teres mayor,</i> <i>Triceps brachii.</i></p>	<p>Las vacas de cría recibieron 2 tratamientos de suplementación: si vs no. Esta categoría, al igual que las lecheras y los novillos, pertenecían al Tipo A de la clasificación del USDA. Maduración por 14 días.</p>	<p>Se observaron diferencias para la mayoría de los valores de fuerza de corte y valoraciones realizadas por el panel sensorial entre los diferentes músculos.</p> <p>Los músculos provenientes de la categoría novillo, fueron los más tiernos; mientras que los más duros correspondieron a las vacas no suplementadas.</p> <p>Las vacas de cría y lecheras suplementadas presentaron canales con más pesadas y de mejor calidad que las no suplementadas. Las vacas suplementadas presentaron en su carne, menor incidencia de sabores no deseados y cortes de terneza aceptables.</p>

Cuadro 5. Resumen de resultados experimentales que estudiaron el efecto de la maduración sobre la calidad de carne vacuna (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y animales	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Franco et al. (2008a, 2008b, 2008c)	Holando Novillos 20	<i>Gluteo biceps</i> , <i>Longissimus dorsi</i> , <i>Psoas mayor</i> , <i>Semimembranosus</i> , <i>Semitendinosus</i> .	Maduración por: 1, 7, 14 ó 21 días.	<p>A medida que transcurrió la maduración se observó un incremento de la luminosidad (L*) y un descenso en el índice de rojo (a*). Los músculos evaluados presentaron valores de terneza instrumental diferentes.</p> <p>Conforme transcurrió la maduración, se incrementaron las pérdidas por cocción y aumentó la terneza instrumental de la carne; aunque a partir del día 14, no se detectaron mejorías en la terneza de los diferentes músculos. La mayor tasa de descenso en la fuerza de corte, se registró entre el día 1 y 7 de maduración.</p> <p>El panel sensorial detectó diferencias en la terneza de los diferentes músculos. Mientras los músculos <i>Semitendinosus</i> y <i>Gluteo biceps</i>, necesitaron períodos de maduración mayores (21 días) para mejorar las valoraciones en terneza; los músculos <i>Longissimus dorsi</i> y <i>Semimembranosus</i>, mejoraron significativamente sus valoraciones de terneza ya a partir de los 7 días de maduración.</p>

Cuadro 8. Resumen de resultados experimentales que estudiaron el efecto de la maduración sobre la calidad de carne ovina.

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Delgado et al.(2001)	Dorset Fenotipos Normal y con el gen <i>Callipyge</i> Ovejas 12	<i>Longissimus dorsi</i>	Maduración por 0, 1, 3 ó 10 días.	El músculo <i>Longissimus dorsi</i> de los animales con el gen <i>Callipyge</i> no cambió la terneza entre 1 y 10 días de maduración. Mientras que en los animales que no presentaban el gen, la terneza disminuyó - aproximadamente - 29 % tras 10 días de maduración.
Redmond et al.(2001)	Irlandeses Corderos 36	<i>Longissimus thoracis</i>	Un grupo de canales se enfrió a -20 °C las primeras 3,5 h y luego se mantuvieron 20,5 h a 4 °C. Otro grupo de canales se refrigeró a 4 °C por 24 h. Luego, ambos grupos, se maduraron por 5 días.	No se encontró diferencias en la fuerza de corte atribuibles a los diferentes métodos de enfriado utilizados. Se registró una disminución promedio en la fuerza de corte por efecto de la maduración de 55 %. A su vez, a los 5 días de maduración, el rango de variación en los valores de fuerza de corte eran menores que la carne con 1 día de maduración.

Cuadro 9. Resumen de resultados experimentales que estudiaron el efecto de la maduración sobre la calidad de carne ovina (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Kuber et al.(2003)	7/8 Columbia y 1/8 Dorset (fenotipo normal o con el gen <i>Callipyge</i>) Corderos 6	<i>Longissimus dorsi</i>	Maduración por 1, 3, 6, 12, 24 ó 48 horas.	Los valores de fuerza de corte fueron mayores para los animales con el gen <i>Callipyge</i> , independientemente del período de maduración. La maduración tendió a disminuir la diferencia entre los animales con y sin el gen <i>Callipyge</i> , a pesar que los valores de fuerza de corte registrados ya a las 3 h por los animales sin el gen <i>Callipyge</i> (3,8 kg), nunca fueron alcanzados por los animales que presentaban el gen de la atrofia muscular.
Ilian et al. (2004a)	Coopworth Corderas 4	<i>Longissimus thoracis</i>	Maduración por 1, 2, 3, 4, 5, 6 ó 7 días.	Ocurrió un aumento mayor de la ternera instrumental en los 3 primeros días de maduración. La disminución en la fuerza de corte fue de incremento 44 y 72 %, para los días 2 y 3 de maduración, respectivamente, frente al día 1. Posteriormente, no hubo una disminución estadísticamente significativa.

Cuadro 10. Resumen de resultados experimentales que estudiaron el efecto de la maduración sobre la calidad de carne ovina (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Ilian et al.(2004b)	Borregos (enteros y castrados)	<i>Longissimus thoracis</i>	Maduración por 1, 3, 5 ó 7 días.	La fuerza de corte disminuyó ligeramente durante la maduración. Dicha disminución fue de 63 - 95 % para 3 - 5 días de maduración, respectivamente, frente al día 1.

Cuadro 11. Resumen de resultados experimentales que estudiaron el efecto de la maduración sobre la calidad de carne ovina (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Bianchi et al. (2004, 2006), Bianchi (2005a, 2007).	Corriedale y Hampshire Down x Corriedale Corderos enteros o criptórquidos	<i>Longissimus dorsi</i> , <i>Semimembranosus</i> , <i>Gluteo bíceps</i> y <i>Semitendinosus</i> .	Se maduró por 1, 2, 4, 8 y 16 días.	A medida que transcurrió la maduración e independientemente del biotipo del cordero, se observaron valores de fuerza de corte menores en el músculo <i>Longissimus dorsi</i> ; obteniéndose los valores más bajos a los 8 días (35,4 % menor, respecto al día 1); sin cambios significativos en los 8 días restantes de todos los períodos de maduración estudiados. El panel de consumidores valoró más tierno al músculo <i>Semitendinosus</i> , frente al <i>Semimembranosus</i> , que resultó el más duro; presentando el <i>Gluteo Biceps</i> valores intermedios. Tras 8 días de maduración, los consumidores no detectaban cambios apreciables en la terneza, sabor o aceptabilidad del producto. No obstante, se registró interacción entre el tipo de músculo y el tiempo de maduración; tendiendo a desaparecer las diferencias entre músculos conforme transcurría la maduración. El panel determinó que el músculo <i>Longissimus dorsi</i> , también tuvo cambios significativos en la terneza hasta el día 8 de maduración. A partir de este momento, comenzaron a aparecer olores y sabores extraños, que determinaron una menor aceptabilidad por parte del panel.
	50			

Los resultados presentados en los cuadros 5 y 6 son contundentes, respecto a la mejora en la terneza instrumental y/o sensorial de la carne vacuna y ovina conforme transcurre la maduración.

Bianchi (2005a), realizó una revisión de experimentos que evaluaban el efecto de la maduración sobre la terneza de la carne vacuna y ovina. El autor, revisó literatura publicada en el período 1986 - 2003 concluyendo - también - que a medida que se incrementaba el período de maduración, también lo hacía la terneza de la carne en ambas especies. No obstante, también señalaba una serie de factores que condicionaban la respuesta, a saber: la especie (más rápido en ovinos frente a vacunos) el tipo genético (en vacunos, asociado con el porcentaje de sangre *Bos Taurus* versus *Bos Indicus*; en ovinos, la presencia versus ausencia del gen *Callipyge*), el sistema de producción (los animales alimentados a pasto maduraría más rápido que aquellos alimentados en base a *feed lot*, al menos en vacunos) y el tipo de músculo (asociado al predominio de fibras rojas versus blancas, de maduración más lenta o más rápida, respectivamente).

En la presente revisión, los experimentos en vacunos en los que se utilizaron diferentes dietas, no registraron mayores cambios en la terneza de la carne; excepto el trabajo de Stelzleni et al. (2007). Estos autores encontraron mejoras en la fuerza de corte de las vacas carniceras y lecheras suplementadas frente a las no suplementadas; de corroborarse estos resultados, la suplementación a vacas, podría utilizarse como una herramienta para agregar valor a un producto de mediana calidad, si se lo compara con los cortes del novillo especial; pudiendo mejorar la oferta que se destina al abasto.

Se registraron - también - respuestas diferenciales en la terneza de la carne conforme transcurría la maduración, en función del músculo bajo estudio (Belew et al. 2003, Stelzleni et al. 2007). Es sabido que los músculos de soporte son más tiernos que los de locomoción, aunque este concepto no necesariamente es aplicado en su totalidad, cuando se evalúan los músculos individualmente (Belew et al., 2003).

En general, los diferentes músculos requieren aproximadamente 14-20 días de maduración para alcanzar los valores más altos en que a terneza de carne ovina (Wheeler y Koochmariaie, 1994) o vacuna (Gruber et al., 2006), respectivamente refieren.

La presencia del gen *Callipyge* en ovinos provoca hipertrofia muscular (Warriss, 2003), de ahí que existan líneas de investigación interesadas en estudiar este gen. No obstante, su presencia además provoca incrementos en la masa de los músculos de los animales que lo presenten; también resulta en

un aumento de la actividad de la calpastatina (Delgado et al. 2001, Kuber et al. 2003), y por ende, en incrementos paralelos en la dureza de la carne (Delgado et al. 2001, Warriss 2003). Se ha encontrado que su presencia, también genera ritmos más lentos de ablandamiento frente a períodos de maduración crecientes (Warriss, 2003).

El almacenamiento de la carne en cámaras de refrigeración supone un costo elevado para la industria frigorífica (Bianchi, 2005b), de ahí que se justifique la búsqueda en la implementación de estrategias de conservación y/o tecnologías que permitan mejorar la terneza de la carne, sin incurrir en dichos costos, que variarán en función del tipo de corte (músculo) considerado (Franco et al., 2008c).

Asistir al vendedor por menor y a los operadores gastronómicos con apropiados períodos de maduración para una variedad de cortes (Gruber et al., 2006); así como una campaña de información al consumidor que le permita conocer primero e implementar después la maduración organolépticamente óptima en su propio refrigerador, serían estrategias que aumenten el consumo de carnes rojas, atendiendo las necesidades del destinatario final del producto (Bianchi et al. 2004, 2005b).

En el siguiente apartado se trataran algunas tecnologías vinculadas al elemento Calcio, que han sido estudiadas por la investigación y/o utilizadas a nivel comercial, con el propósito de disminuir el período de maduración, bajar los costos de almacenamiento en cámaras frigoríficas y mejorar la terneza de la carne.

2.3.7. Tecnologías que involucran el Calcio

2.3.7.1. Inyección de Calcio o Lactato de Calcio

El método consiste en inyectar una solución de Cloruro de Calcio o Lactato de Calcio, en la canal o directamente en el músculo; también se incluye - en esta sección - la marinación con soluciones de Calcio.

A nivel experimental se ha utilizado - en general - una bomba de mano con una aguja de metal unida a un dispositivo de goma que permite inyectar la solución hacia el centro del músculo para ser liberada en forma lenta (Jaturasitha et al., 2004). A nivel comercial hay un número importante de empresas que producen varios tipos de modelos.

En la figura 23 se muestra, a título de ejemplo, un inyector de CaCl_2 comercial.

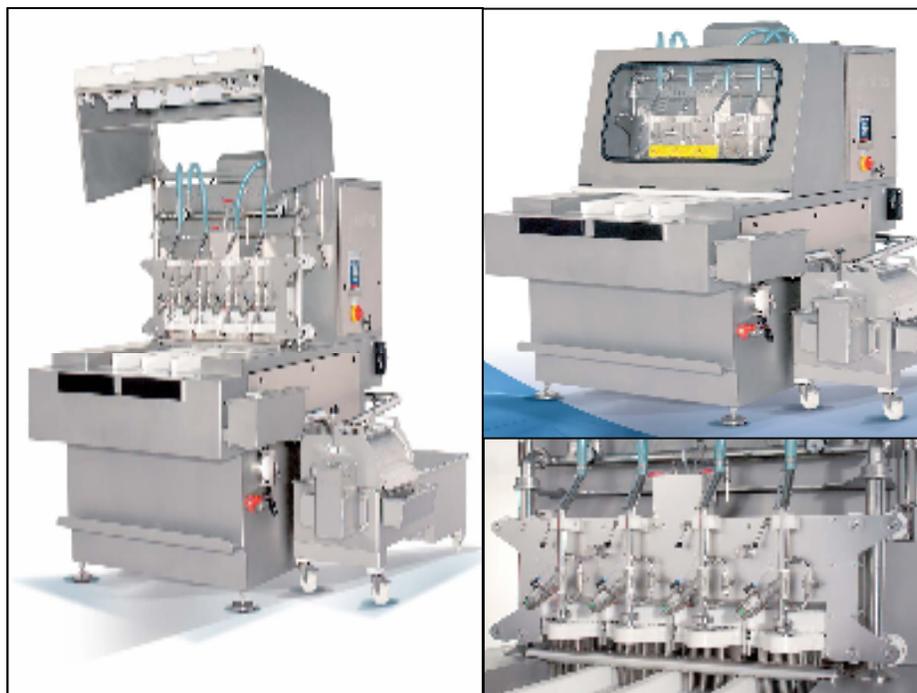


Figura 21. Inyector comercial de Cloruro de Calcio.

Fuente: Günther Foodprocessing (2007).

El método de marinación de la carne con soluciones de Cloruro de Calcio es uno de los métodos más antiguos y consiste en sumergir la carne en dicha solución, permitiendo que los solutos ingresen a la carne por difusión de agua en los espacios intercelulares, que dependen del proceso de osmosis, haciendo que el agua salga y penetre el Cloruro de Calcio en la células (Lemos, citado por Zeola et al., 2007a), según Gonzalez et al. (2001) la carne requiere de un período de 2 horas de inmersión.

En los cuadros 7 y 8 se presentan resultados de trabajos internacionales que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de calcio, sobre la ternura de la carne bovina y ovina.

Cuadro 12. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de Calcio sobre la terneza de carne bovina a lo largo de la maduración.

Autor y año	Animales: raza, categoría y animales	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Koohamarie et al.(1990)	Cruzas Novillos y Vaquillonas	<i>Longissimus dorsi</i>	La mitad del músculo se inyectó con 400-500ml 0,3M de CaCl ₂ (45min post-faena) y la otra mitad se dejó como control. Maduración por 1 o 14 días.	La aplicación de CaCl ₂ aumentó significativamente la concentración de calcio en músculo; aumentaron las pérdidas por cocción a 1 día pero sin diferencia a los 14 días y se aceleró la maduración a 1 día. La maduración por 14 días tiene mayor efecto en las no tratadas; la inyección de CaCl ₂ tiene efecto en las calpaínas, y sobre su inhibidor.
Wheeler et al. (1992) Experimento 1	Cruzas: Hereford, Angus, y Pinzgauer. Toros 11	<i>Longissimus dorsi</i>	Se retiraron los músculos del lado derecho e izquierdo de la canal y cada uno se dividió en 4; 30 minutos después del degüello, asignando a cada uno a los siguientes tratamientos: inyección 0 h sin CaCl ₂ ; a 0 h con 0,3 M de CaCl ₂ al 10% del peso del músculo; inyección a 24 h sin CaCl ₂ o a 24 h con CaCl ₂ al 10 % del peso del músculo.	La fuerza de corte disminuyó en los tratamientos en los que se inyectó CaCl ₂ frente a los no inyectados, pero el efecto fue mayor en el tratamiento en que el Calcio se inyectó a 0 h.

Cuadro 13. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de Calcio sobre la terneza de carne bovina a lo largo de la maduración (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y animales	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Wheeler et al. (1992) Experimento 2	Cruzas: 3/8, 1/2, ó 5/8 Brahman ó Sahiwal. 7	<i>Longissimus dorsi</i>	Experimento 2: Se dividió el músculo en 6 segmentos, 24 h después del degüello, asignándolo a diferentes tratamientos: maduración por 2 días o 7 días; congelado el día 1, descongelado y luego madurado por 6 días; inyectado con CaCl ₂ el día 1 y luego madurado por 6 días; inyectado con CaCl ₂ el día 1, luego congelado, descongelado y madurado por 6 días.	La inyección al día 1 y el tratamiento de congelado y posterior a su descongelado inyectado, fueron los que obtuvieron las menores fuerzas de cortes.
Wheeler et al. (1992) Experimento 3	Cruzas:3/8, 1/2, ó 5/8 Brahman ó Sahiwal 7	<i>Longissimus dorsi</i>	Se dividió el músculo en 6 segmentos 30 minutos después del degüello y se lo asignó a los mismos tratamientos del Experimento 2 de Wheeler et al. (1992).	Los inyectados a 0 h o a 1 día tuvieron valores de fuerza de corte similares.

Cuadro 14. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de Calcio sobre la terneza de carne bovina a lo largo de la maduración (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y animales	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Kerth et al. (1995)	Novillos 12	<i>Longissimus dorsi</i>	Inyección 48 h post- faena de CaCl ₂ (5 % peso canal): 0; 0,2; y 0,25 M. Maduración por 7 ó 14 días.	<p>La inyección con CaCl₂ provocó una decoloración de la carne a partir del tercer día de maduración.</p> <p>Se registró interacción entre los tratamientos con CaCl₂ y el tiempo de maduración. Cuando la maduración fue de 7 días, el CaCl₂ incrementó la terneza instrumental y sensorial. Dicha mejora por utilizar 0,2 ó 0,25 M de CaCl₂ fue de 19 ó 22 %, respectivamente frente al tratamiento control.</p> <p>Cuando la maduración fue de 14 días, no se detectaron diferencias entre tratamientos de CaCl₂.</p> <p>El 68 % de la carne presentó valores de fuerzas de corte superiores a 4,5 kg antes de tratar con CaCl₂; mientras que después de la inyección con esta solución, sólo el 50% presentaba valores mayores a 4,5 kg. No obstante, el panel sensorial detectó sabores más intensos en los tratamientos inyectados con CaCl₂.</p>

Cuadro 7. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de Calcio sobre la terneza de carne bovina a lo largo de la maduración (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Thomson y Dobbie (1997)	Friesian Toros	Experimento 1: <i>Longissimus dorsi.</i>	Experimento 1: inyección con CaCl ₂ (0,3 M, agua ó NaCl 0,6 M) 2 h post-faena al 10% del peso canal de, Maduración por 24 ó 48 h a 15 °C.	Experimento 1: el tratamiento con CaCl ₂ <i>pre-rigor</i> , no afectó las pérdidas por cocción, pero sí aumentaron las pérdidas durante el almacenaje. A las 24 h post-faena la adición del NaCl disminuyó la fuerza de corte; mientras que el CaCl ₂ la incrementó (60 % mayores a las 48 h).
	Exp1: 6	<i>Gluteus medius.</i>		
	Exp2: 14		Experimento 2: Inyección 2 h post-faena con 0,4 M NaCl (10% peso canal) ó 0,2 M CaCl ₂ a las 2, 24 ó 48 h post-faena. Maduración por 0, 1, 2, 3, 7, 8, 14 ó 21 días.	Experimento 2: El CaCl ₂ <i>pre-rigor</i> incrementó las pérdidas por cocción.. El tratamiento con CaCl ₂ 2 h <i>pre-faena</i> incrementó la fuerza de corte durante el almacenamiento. Mientras que las muestras tratadas 24 o 48 h post-faena, no afectaron significativamente dicha variable. Las muestras tratadas con NaCl no fueron diferentes al tratamiento control durante el período de maduración estudiado, excepto con 1 día de maduración donde presentaron menor fuerza de corte (aún menores que a 14-21 días de maduración).

Cuadro 7. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de Calcio sobre la terneza de carne bovina a lo largo de la maduración (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Pringle et al. (1999)	Angus, Braham ó Angus x Braham Novillos 18	<i>Longissimus dorsi</i> , <i>Gluteus medius</i> , <i>Semimembranosus</i> .	Los músculos de la media canal derecha se inyectaron al 5 % (sin especificar si se trataba del corte o la canal), con una solución de CaCl ₂ al 2,2 %. Los músculos del lado izquierdo de la canal no se inyectaron. Maduración por 1, 2, 5, 15 ó 31 días.	La fuerza de corte fue un 30% mayor en Braham que en el resto de los biotipos estudiados. El uso del CaCl ₂ produjo una reducción en la fuerza de corte; aunque dicho efecto fue mayor en Brangus, a pesar de no haber sido suficiente para equiparar los valores que mostraron los otros biotipos. La maduración de la carne provocó una disminución en la fuerza de corte, sobre todo durante los primeros 5 días. Los músculos <i>Longissimus dorsi</i> y <i>Gluteus medius</i> fueron más tiernos en los biotipos Angus y en la cruce, que en el Brahman puro. La inyección con CaCl ₂ mejoró la terneza de los músculos <i>Longissimus dorsi</i> y <i>Gluteus medius</i> . El panel sensorial detectó diferencias en terneza y flavor (no deseables) en los tratamientos con CaCl ₂ .

Cuadro 7. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de Calcio sobre la terneza de carne bovina a lo largo de la maduración (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
González et al. (2001)	Novillos 42	<i>Cutaneus trunci</i>	Se retiró el músculo de la media canal izquierda y derecha a las 24 h post-mórtem y se marinaron en una solución de CaCl ₂ al 10 % del peso (sin especificar si se trataba del corte o la canal), 0,20, 0,25 ó 0,30 M por 2 h o no se marinaron. Maduración por: 1, 2, 3, 4, 6 ó 7 días.	No se encontraron diferencias en la fuerza de corte para los músculos tratados y no tratados; tampoco se encontraron diferencias entre los diferentes períodos de maduración, probablemente atribuido, de acuerdo a los autores, a la alta variabilidad del músculo en la variable terneza (coeficiente de variación: 16 - 41,7 %). Sin embargo, sensorialmente las muestras marinadas con 3 días de maduración, fueron valoradas más tiernas que aquellas no marinadas y maduradas durante 7 días.

Cuadro 7. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de Calcio sobre la terneza de carne bovina a lo largo de la maduración (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
McGee et al.(2003)	30	<i>Semimembranosus</i>	Se maduró la carne por 14 días y luego se inyectó una solución de trifosfato de sodio, cloruro de sodio y lactato de sodio en diferentes proporciones en función del peso del músculo: 0; 5; 7 ó 9 %. Maduración por 21, 28 ó 35 días.	La fuerza de corte disminuyó en la carne tratada con la solución, independientemente del nivel utilizado. El panel sensorial valoró más tierna la carne inyectada al 7 ó 9 % en todos los períodos de maduración., aunque a los 35 días de maduración valoró la carne más dura que en los períodos de maduración de 21 ó 28 días. El panel también valoró la carne más jugosa en la carne inyectada frente al lote control, tendiendo a estabilizarse las diferencias conforme transcurría la maduración.

Cuadro 7. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de Calcio sobre la terneza de carne bovina a lo largo de la maduración (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Lawrence et al. (2003a)	26	<i>Longissimus dorsi</i>	El músculo se inyectó al 11 % de su peso con alguna de las siguientes soluciones: --agua destilada, --1 M ascorbato de calcio, --0,3 M ascorbato de calcio, -- 0,2M ascorbato de calcio, --0,1 M CaCl ₂ , --0,2 M CaCl ₂ , --0,3 M CaCl ₂ , --0,1 M lactato de calcio, --0,2 M lactato de calcio, --0,3 M lactato de calcio ó --no inyectados.	La utilización de Sales de Calcio incrementó la concentración de Calcio en el músculo entre 400 y 1350 % más que el tratamiento control. Todos los tratamientos que fueron inyectados con sales de calcio presentaron menores valores de fuerza de corte que aquellos inyectados con agua destilada, o no inyectados. No existieron diferencias en la terneza instrumental o sensorial entre los diferentes tratamientos en que se utilizó el Calcio. El panel sensorial detectó una mayor cantidad de sabores no deseables en los tratamientos con lactato de calcio. El calcio ascórbico, por su parte, causó un deterioro en el color y generó sabores indeseables.

Cuadro 7. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de Calcio sobre la terneza de carne bovina a lo largo de la maduración (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Lawrence et al. (2003b)	15	<i>Semitendinosus</i> , <i>Longissimus</i>	El día 3 post-mórtem, los músculos se dividieron en 2 y se los inyectó al 11 % de su peso con alguno de los siguientes tratamientos: --no inyectado, --0,1M Lactato de Calcio, 0 h retención, --0,2 M acetato de Calcio, 0 h retención, 8,4 %fosfato-4,2 % sal, --0,2 M lactato de Calcio, 1 h retención, 8,4 % fosfato, 4,2 % sal, --0,2 M lactato de Calcio, 3 h retención, 8,4 % fosfato, 4,2 % sal; --0,2M lactato de Calcio, 5 h retención, 8,4 % fosfato, 4,2% sal. Maduración por 7 días.	Independientemente del músculo, no existieron para ninguno de los tratamientos evaluados diferencias en la fuerza de Corte. El panel sensorial tampoco encontró diferencias ente los tratamientos del músculo <i>Semitendinosus</i> ; pero sí en el <i>Longissimus</i> : aquellos trozos de músculo inyectados con lactato de Calcio, con el fosfato y la sal, fueron valorados más tiernos que los no inyectados.

Cuadro 7. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de Calcio sobre la terneza de carne bovina a lo largo de la maduración (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Dikeman et al. (2003)	Hereford x Angus Vaquillonas 36	<i>Longissimus lumbarum</i> , <i>Semitendinosus</i> , <i>Quadriceps femoris</i> .	Después del desangrado se realizó una infusión al 10 % peso vivo de una solución de sacarosa, o una infusión de 0,3 M CaCl ₂ al 10 % del peso vivo y el control (sin tratamiento). Maduración por 14 días.	La concentración de Calcio del músculo <i>Longissimus lumbarum</i> de la canal tratada con la infusión de CaCl ₂ fue mayor que la del control ó la del que se había realizado una infusión con una solución de sacarosa. La infusión de sacarosa, tampoco afectó la fuerza de corte de la carne; en tanto que la infusión con CaCl ₂ originó carne menos tierna. El panel sensorial detectó sabores indeseables en el tratamiento con CaCl ₂ .

Cuadro 7. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de Calcio sobre la terneza de carne bovina a lo largo de la maduración (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Lawrence et al. (2004)	36	<i>Longissimus dorsi</i>	<p>Los músculos se dividieron a la mitad y se les inyectó al 11,5 % del peso (sin especificar si se trataba del músculo o del peso vivo o canal) con alguno de los siguientes tratamientos:</p> <p>4,4 % fosfato y 2,2 % sal; 4,4 % fosfato, 2,2 % sal; 1,1 % caldo de carne y 1,1 % saborizante natural; 4,4 % fosfato, 2,2 % sal, 2,2 % caldo de carne y 1,1 % saborizante natural; 4,4 % fosfato, 2,2 % sal, 1,1 % carragenina y 1,1 % saborizante natural; 4,4% fosfato, 2,2 % sal, 2,2 % carragenina y 1,1 % saborizante natural; 2,4 % lactato de Calcio; 1,1 % caldo de carne y 1,1 % saborizante natural; 2,4 % lactato de Calcio, 2,2 % caldo de carne y 1,1 % saborizante natural; 2,4% lactato de Calcio; 1,1 % carragenina y 1,1 % saborizante natural; 2,4 % lactato de Calcio; 2,2 % carragenina y 1,1 % saborizante natural.</p>	Ninguno de los tratamientos planteados afectó la fuerza de corte ó la palatabilidad de la carne.

Cuadro 7. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de Calcio sobre la terneza de carne bovina a lo largo de la maduración (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculos	Tratamientos	Principales resultados
Jaturasitha et al. (2004)	EE.UU. Brahman x Thai (<i>Bos indicus</i>) Novillos (>4 años) 8	<i>Longissimus dorsi</i>	Se retiró el músculo de la media canal izquierda y derecha a los 30 minutos post-mórtem, se seccionaron en 4 y se inyectó una solución de CaCl ₂ al 10 % (sin especificar si se trataba del músculo o del peso vivo o canal), con: 0, 0,2, 0,3 y 0,4 M a los 45 minutos o a las 24 h post-mórtem. Maduración por 7 días.	La inyecciones con CaCl ₂ afectaron la luminosidad (*L) a los 7 días post-mórtem y la inyección con CaCl ₂ a 45 minutos después de la faena cambió más el color (a* y b*), frente a la inyección a las 24 h. La fuerza de corte disminuyó por el efecto del CaCl ₂ , 27, 38 y 43 % a medida que se incrementaba la concentración de este elemento. Los tratamientos que se aplicaron 45 minutos post-mórtem (<i>pre-rigor</i>), no difirieron con los que se aplicaron 24 h <i>post-mortem (post-rigor)</i> , en sus fuerzas de corte. El panel sensorial valoró más tierno los trozos de músculo tratados con CaCl ₂ , pero sólo cuando se aplicó a los 45 minutos post-mórtem: 16, 19 y 33 % a medida que se incrementaba la concentración de CaCl ₂ . A su vez, se detectó un sabor punzante se en los tratamientos con la mayor concentración de CaCl ₂ en el 50% de las muestras.

Cuadro 7. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de Calcio sobre la terneza de carne bovina a lo largo de la maduración (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculos	Tratamientos	Principales resultados
Berhrends et al. (2005)	57	<i>Longissimus dorsi</i> , <i>Gluteus medius</i> , <i>Gluteus biceps</i> .	Inyección 48 o 72 h post-faena de CaCl ₂ (5 % Peso del corte): 0 ó 0,2 M. Maduración por 14 ó 21 días.	No se observaron diferencias en la terneza instrumental o sensorial en la carne de los diferentes tratamientos; tampoco entre los diferentes períodos de maduración.
Kong et al. (2006)	Amarillo Chino Maduros 38	<i>Longissimus dorsi</i>	Inyección al 10 % del peso (sin especificar si se trataba del músculo o del peso vivo o canal) de: CaCl ₂ (0,3 M); ZnCl ₂ (50 mM); agua; no inyectados. Madurado por 1 día.	Los valores de L* y a* no fueron afectados por los tratamientos. La fuerza de corte disminuyó más de 30 % cuando se inyectó CaCl ₂ frente a los tratamientos no inyectado ó inyectado con agua.
Chacon (2007)	100	<i>Psoas</i>	Inyección de una solución de CaCl ₂ (3 al 5% del peso del músculo), sin inyectar. Maduración por 7 días, luego congelación, cocción a 70 °C y luego congelación, sólo cocción ó sólo maduración.	Los tratamientos que utilizaron la cocción presentaron las mayores pérdidas de peso por cocción y un bajo incremento en la terneza, en comparación con los no cocinados. Todos los tratamientos disminuyeron los valores de fuerza de corte, pero el mejor resultado fue el de inyección y luego maduración, obteniéndose - aproximadamente - 51 % de mejora en la terneza instrumental frente al tratamiento sin inyectar.

Cuadro 15. Principales resultados de Trabajos que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de Calcio sobre la terneza de carne ovina a lo largo de la maduración.

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales Resultados
Koohamarie et al. (1990)	Corderos cruza (sin especificar) 24	<i>Longissimus dorsi</i>	Sin inyección ó una inyección de 0,3 M de CaCl ₂ a 10 % del peso vivo, inmediatamente después de la muerte. Ambos tratamientos con o sin estimulación eléctrica. Maduración con 1 ó 7 días.	La aplicación de CaCl ₂ acelera el proceso de “tiernización” post- mórtem (no haciendo necesario la estimulación eléctrica para disminuir la fuerza de corte), sin afectar las perdidas por cocción.

Cuadro 16. Principales resultados de Trabajos que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de Calcio sobre la terneza de carne ovina a lo largo de la maduración (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales Resultados
Koochmaraie et al. (1998)	Dorset x Romanov (con la presencia o ausencia del gen <i>Callipyge</i>) Borregos/as 49	<i>Longissimus dorsi</i>	Se clasificaron las canales según la presencia o no del gen <i>Callipyge</i> y luego se congelaron (24 h a - 2 °C) ó se sumergieron en N-líquido (15 minutos) y luego se mantuvieron congeladas a - 2 °C. Al descongelarse se removió el músculo, se envasaron al vacío y se maduraron por 7 o 14 días ó se les inyectó una solución de 0,2 M de CaCl ₂ , al 5 % del peso (sin especificar si se trataba del músculo o del peso vivo o canal). Maduración por 7 ó 14 días.	La fuerza de corte fue mayor en el fenotipo <i>Callipyge</i> frente al normal, tanto a los 7 como a los 14 días post-mórtem (+ 222-232 %). Ni el tratamiento de N-líquido, ni el de CaCl ₂ , ó su combinación, mejoraron la fuera de corte a los 14 días en los corderos que no presentaban el gen de hipertrofia muscular. El N-líquido disminuyó la fuerza de corte (30 %) y mejoró las valoraciones del panel sensorial en el atributo terneza (+ 86 %) en los animales portadores del gen <i>Callipyge</i> a los 14 días de maduración; también la inyección de CaCl ₂ mejoró la terneza instrumental (+ 36 %) y sensorial (+ 86 %). Además la combinación de ambos tratamientos, mejoró la terneza instrumental (+ 51 %) y el Panel Sensorial (124%) a los 14 días de maduración.

Cuadro 17. Principales resultados de Trabajos que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de Calcio sobre la terneza de carne ovina a lo largo de la maduración (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales Resultados
Polidori et al. (2000)	Fabrianese Corderos 36	<i>Longissimus thoracis</i>	Luego de la faena se inyectó a las canales con: agua destilada ó CaCl ₂ al 10 % del peso vivo (0,3 M) ó no se las inyectó. El músculo se maduro por 2 ó 6 días.	La inyección con 0,3 M de CaCl ₂ incrementó el contenido de Calcio en las canales, siendo éste 60 veces mayor que en las no inyectadas. No hubo diferencia en la fuerza de corte entre el grupo que no se inyectó y aquel inyectado con agua destilada, en ninguno de los 2 períodos de maduración; pero ambos presentaron diferencias con el grupo al que se inyectó el CaCl ₂ , que presentó valores menores en fuerza de corte. Independientemente de los tratamientos, se observó que los valores de fuerza de corte disminuían con las maduraciones más altas.

Cuadro 18. Principales resultados de Trabajos que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de Calcio sobre la terneza de carne ovina a lo largo de la maduración (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales Resultados
Zeola et al. (2005)	Cruza: Ile de France x Ideal Ovejas 5	<i>Longissimus dorsi</i>	Inyección con agua o con CaCl ₂ a 0,2 M ó 0,3 M al 10% del peso de la muestra. Se maduró la canal por 24h a 5°C, luego la carne se envasó al vacío a 4 °C por 3 h y se dejó escurrir 30 m evaluar las pérdidas por cocción y estas muestras se utilizaron para determinar la fuerza de corte.	El tratamiento con 0,2 M de CaCl ₂ originó valores menores en la coordenada b* del color. La capacidad de retención de agua fue menor en el tratamiento con 0,3 M deCaCl ₂ ; no hubo diferencias en las perdidas por cocción. Tampoco en la terneza instrumental entre los dos tratamientos con CaCl ₂ , pero sí entre los tratamientos de CaCl ₂ y agua, registrándose una disminución en la fuerza de corte del 21,5 % de los tratados con CaCl ₂ frente a los tratados con agua.

Cuadro 8. Principales resultados de Trabajos que estudiaron el efecto de la inyección y marinación con soluciones de Calcio sobre la terneza de carne ovina a lo largo de la maduración (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamiento	Resultados
Zeola et al. (2007b)	Morada Nova Corderos 24	<i>Biceps femoris</i> , <i>Longissimus dorsi</i> , <i>Triceps brachii</i> .	Inyección de CaCl ₂ 0 ó 0,3 M al 10 % del peso del músculo. Maduración por 1, 7 ó 14 días.	El CaCl ₂ en forma conjunta con el tiempo de maduración afectaron los valores de la coordenada a* del color. No hubo efecto de la maduración, ni de la inyección de CaCl ₂ sobre los valores de fuerza de corte en el músculo <i>Triceps brachii</i> , pero sí en el músculo <i>Biceps femoris</i> a los 14 días de maduración. En <i>Longissimus dorsi</i> se observó efecto por parte de la maduración y de la inyección de CaCl ₂ disminuyendo la fuerza de corte; pero no hubo interacción entre ellas.

Independientemente de la especie considerada se utilizaron concentraciones de Calcio en torno a 0,3 M al 5 ó 10 % del peso del músculo o la canal y las inyecciones se realizaron en dos momentos post-mórtem: *pre-* ó *post-rigor*.

En varios experimentos se determinó una reducción en los valores de color rojo (a^*) de la carne, atribuible al uso del Cloruro de Calcio (Kerth et al. 1995, Jaturasitha et al. 2004, Zeola et al. 2007b), sobre todo cuando se incrementaba el período de maduración; ya que Kong et al. (2006), no encontraron diferencias entre los tratados o no con cloruro de Calcio y 1 día de maduración. Esta reducción en los valores de la coordenada a^* , se asocian a la presencia de cortes oscuros (DFD). Estos cortes oscuros se encuentran asociados por parte del consumidor, a productos en mal estado. Una posible explicación a este fenómeno es la aceleración de la fragmentación de las miofibrillas con el tratamiento de Cloruro de Calcio; que causaría el “bleaching”, vale decir un “removimiento” del color o “blanqueado”, vía oxidación (Jaturasitha et al., 2004). Por lo tanto, se puede concluir que la inyección con Cloruro de Calcio tuvo un efecto negativo en la vida útil de la carne; reduciéndose a 3 días en los locales de venta, debido a esta decoloración (Kerth et al., 1995).

Por otro lado, la inyección con cloruro de Calcio incrementó la concentración de Calcio en el músculo bovino (Koohamarie et al. 1990, Polidori et al. 2000, Dikeman et al. 2003, Lawrence et al. 2003a), independientemente de la concentración de cloruro de Calcio utilizado, a pesar que la concentración con 0,3 M parecería haber sido la que tuvo mayor efecto (Lawrence et al., 2003a). Ilian et al. (2004c), encontraron también un incremento del 22 % de la concentración de Calcio en músculo de corderos cuando se utilizó 0,3 M de Cloruro de Calcio.

Pringle et al. (1999), determinaron que la inyección de Cloruro de Calcio redujo la actividad de las calpaínas y de la calpastatina; en concordancia, Polidori et al. (2000) observaron una reducción total de la actividad de la μ -calpaína a la 24 h y una importante reducción de la m-calpaína (52,2 %) y su inhibidor la calpastatina (69,6 %). Esta reducción de la actividad de las proteasas indica su activación, evidenciado por su autólisis, debido a la inyección con Cloruro de Calcio; con lo cual es posible concluir que la activación de la μ - y m-calpaína es la responsable de la “tiernización” de la carne post-mórtem, debido a una reducción de la fuerza de corte al utilizar cloruro de Calcio al 0,3 % del peso vivo (Polidori et al., 2000). Gerelt et al. (2005), marinaron la carne de vacas con una solución de 150 mM de Cloruro de Calcio por 2 días y determinaron que la actividad de la μ -calpaína y de la calpastatina no era detectable el día 2 y - además - una importante reducción de la m-calpaína. En concordancia con estos autores Ilian et al. (2004c), determinaron

que el 89 y 98 % de la μ -calpaína ya se había autolizado a las 10 y 48 h post-mórtem, respectivamente y la cinética de degradación de la m-calpaína, declinó los niveles de actividad de ésta durante el almacenamiento, sugiriendo que la m-calpaína fue expuesta a niveles de Calcio suficientes como para determinar su activación mediante la infusión de Cloruro de Calcio (Ilian et al., 2004c). Claramente, la tasa de disminución de la actividad de las calpaínas y de la calpastatina, está relacionada con la disminución de la dureza de la carne (Gerelt et al., 2005), debido a una mayor autólisis.

La inyección de Cloruro de Calcio no tuvo ningún efecto en la longitud del sarcómero (Polidori et al., 2000); sin embargo Ilian et al. (2004c), sí encontraron un acortamiento de aquel. La aceleración del ablandamiento de la carne por los iones Calcio está en paralelo con la fractura de la estructura de la miofibrilla de todo el sarcómero, pero es más notable alrededor de las bandas-I y del disco-Z (Kong et al., 2006). La infusión con cloruro de Calcio *pre-rigor*, acelera la tasa de degradación de la titina; aproximadamente el 85 % de ésta a las 10 h post-mórtem se encontraba degradada frente a un 15 % del tratamiento control; pero a los 7 días un 18 % de la titina se encontraba intacta en ambos. En el caso de la nebulina también ocurre un incremento en la aceleración de su proteólisis; cerca del 50% de ésta, a las 10 h post-mórtem estaba degradada, comparada con un 3 % del tratamiento control (Ilian et al., 2004c).

De los cuadros 7 y 8 claramente resalta la optimización de la terniza mediante la disminución de la fuerza de corte y mejor valoración realizada por el panel sensorial. Sin embargo, en algunos experimentos no encontraron una mejora en la terniza frente a los tratamientos control; o aún peor, reportaron incrementos en la dureza de la carne.

Los tratamientos en los cuales los músculos fueron inyectados o marinados *pre-rigor*, se encontró una disminución en la fuerza de corte de la carne y/o un incremento de la terniza sensorial (Koochmaraie et al. 1990, 1998, Polidori et al. 2000, Zeola et al. 2007b). No obstante, Dikeman et al. (2003), determinaron una disminución en la terniza instrumental debido a la inyección con Cloruro de Calcio en *pre-rigor*. En los experimentos Koochmaraie et al. (1998), Zeola et al. (2007b), - además - se encontró interacción entre la maduración y la inyección, vale decir que no hubo una aceleración en la maduración de la carne, que sí observaron los otros autores señalados.

Cuando la carne fue tratada con las soluciones *post-rigor*, McGee et al. (2003), determinaron una disminución en la fuerza de corte; mientras que Berhans et al. (2005), no reportaron diferencias en la terniza instrumental, en concordancia con los resultados de Lawrence et al. (2003b). A pesar de esto, en este último experimento, se reportó una mejora en la terniza sensorial del

músculo *Longissimus dorsi*, pero no en el músculo *Semitendinosus*. De acuerdo a Berhans et al. (2005), el hecho que la respuesta al Calcio no sea igual en todos los músculos, puede atribuirse a que los músculos involucrados sean de por sí muy tiernos (en su trabajo: 2,9 vs 2,7kg sin y con cloruro de Calcio, respectivamente) y/o que la maduración provoque un efecto “mitigador” sobre la influencia de la solución de Calcio en la terneza de la carne.

Juralistha et al. (2004), trabajaron con tratamientos *pre* y *post-rigor*, y en ambos encontraron una mejora de la fuerza de corte y en la terneza sensorial; “acelerando” la maduración, sin encontrar diferencias entre ambos momentos de aplicación.

Estos trabajos están parcialmente en desacuerdo con los resultados del experimento de Thomson y Dobbie (1997), quienes concluyeron que los tratamientos con cloruro de calcio *pre-rigor* tendían a incrementar la fuerza de corte, mientras que los tratamientos *post-rigor* tendían a decrecer la fuerza de corte de la carne. No obstante, es importante señalar que sólo un único experimento de los descritos en los cuadros 7 y 8 reportó un incremento en la fuerza de corte; mientras que en todos los demás se encontró una disminución en la terneza cuando los tratamientos se aplicaron *pre-rigor*; en los tratamientos *post-rigor*, la terneza disminuyó o se mantuvo incambiada.

A su vez Gonzalez et al. (2001), señalan que es un método que mejora la terneza de la carne, sin generar sabores indeseables, tampoco el agregado de sustancias químicas que podrían atentar contra la salud humana. Por lo cual en situaciones en que la capacidad de refrigerado sea limitante, los tratamientos con soluciones de Calcio podrían ser de particular efectividad en producir carne palatable en forma rápida (Jaturasitha et al., 2004).

Sin embargo, otros autores han encontrado diferencias al respecto; en este sentido, Dikeman et al. (2003), Lawrence et al. (2004), Juralistha et al. (2004), encontraron que a medida que se incrementaban las concentraciones de las soluciones de Calcio, los diferentes paneles sensoriales describían sabores amargos o punzantes. Estas diferencias pueden deberse a la tolerancia a sabores amargos de los diferentes paneles, ya que éstos pueden tener diferentes hábitos de consumo entre países, así como también, ha sido señalado que un importante aumento en la terneza de la carne puede estar elevando los límites de tolerancia del panel, haciendo pasar desapercibidos a los sabores amargos (Jaturasitha et al., 2004).

2.3.7.2. Suplementación con Vitamina D₃ y metabolitos

La vitamina D₃ corresponde a un grupo importante de vitaminas solubles en grasa encontradas en los alimentos (McDonald et al. 1995, Tipton et al. 2007).

La técnica consiste en suplementar a los animales por un cierto período de tiempo previo al sacrificio con una dosis de vitamina D₃, la cual se ofrece a los en dos presentaciones: con la ración (mezclada o peleteada) ó mediante el suministro de bolos. Cuando se utiliza 2,5-hidroxyvitamina o 1,25-dihidroxyvitamina, éstas se suplementan a los animales en un único bolo algunos días antes del sacrificio.

De esta manera se busca incrementar la concentración de Calcio en el animal. El mecanismo actúa de la siguiente forma: la vitamina D₃ se absorbe a nivel del intestino delgado y es transportada - vía sangre - al hígado, donde se convierte en 2,5-hidroxyvitamina, para luego ser trasladada al riñón y convertida en 1,25-dihidroxyvitamina, para ser transportada a los tejidos objetivos (intestino y hueso). Estas sustancias regulan la transcripción de ARN_m, que es responsable de la producción de proteína transportadora de Calcio en el intestino; además mejora la absorción de Fósforo en el intestino y favorece la re-absorción del Calcio y Fósforo en el riñón y en el hueso (McDonald et al., 1995).

Los iones Calcio son claves en muchos procesos biológicos, por lo cual su control es preciso, para mantener en forma correcta la salud de los animales. De esta forma, ante variaciones en las concentraciones constantes de Calcio en los animales (ingestiones y excreciones), existe un mecanismo endócrino en el cual participan la hormona paratiroidea, calcitonina y la vitamina D (Capen, 1991).

En los cuadros 9 y 10 se presentan trabajos (en bovinos y ovinos, respectivamente), publicados en la bibliografía internacional y nacional, relacionados a la suplementación con vitamina D₃ ó con sus metabolitos activos, 2,5-hidroxyvitamina D₃ y 1,25-dihidroxyvitamina D₃.

Cuadro 19. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la suplementación con Vitamina D₃ sobre la calidad de la carne vacuna.

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Swanek et al. (1999) Experimento 1	Cruzas Novillos 20	<i>Longissimus dorsi</i>	Suplementación con vitamina D ₃ (0, 2,5, 5 ó 7,5 x 10 E6 UI/día), por un período de 10 días.	El nivel de Calcio en sangre aumentó a partir del día 6. Los animales suplementados con 7,5 x 10 E6 UI/día presentaron una concentración de 48 %, frente a 8 % del tratamiento testigo.
Swanek et al. (1999) Experimento 2	Angus x Hereford, (Salers ó Charolais) x Brangus Novillos 118	<i>Longissimus dorsi</i>	Suplementación con vitamina D ₃ (0, ó 5 x 10 E6 UI/día), por un período de 7 días. Maduración por 7, 14 ó 21 días.	Experimento 2: Se disminuyó la fuerza de corte con el suplemento a los 7 días de maduración; no hubo efecto de suplementar a los 14 o 21 días. El panel sensorial valoró la carne más tierna a los 7 días de maduración por el uso de Vitamina D ₃ .

Cuadro 20. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la suplementación con Vitamina D₃ sobre la calidad de la carne vacuna (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Swanek et al. (1999)	Salers ó Charolais x Brangus Novillos 44	<i>Longissimus dorsi</i>	Suplementación con vitamina D ₃ (0 ó 7,5 x 10 E6 UI/día), por un período de 10 días. Maduración por 7, 14 ó 21 días.	La fuerza de corte disminuyó un 17 % a los 7 días de maduración en los animales suplementados, frente al tratamiento control; también se registraron mejoras a los 14 días de maduración. El panel sensorial también valoró más tierna la carne proveniente de los animales suplementados con la vitamina.

Cuadro 21. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la suplementación con Vitamina D₃ sobre la calidad de la carne vacuna (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Montgomery et al. (2000)	Continental × Británica Novillos 30	<i>Longissimus lumborum</i> , <i>Semimembranosus</i>	A los animales se les suplementó con un bolo de Vitamina D ₃ (0, 5 y 7,5 UI), por 9 días y el día 10 se procedió al sacrificio. Maduración por: 3, 7, 14 ó 21 días en el músculo <i>Longissimus lumborum</i> ó 7, 14 ó 21 días, en el músculo <i>Semimembranosus</i> .	Desde el día 5 al 8 se observaron las mayores concentraciones de Calcio en sangre en los tratamientos con vitamina; el día 10 todos los tratamientos diferían en la concentración de Calcio en sangre. El suplementar con la Vitamina incrementó la concentración de sí misma en músculo e hígado. La fuerza de corte disminuyó, a medida que aumentó el período de maduración. El efecto de la vitamina D ₃ provocó diferencias a los 14 días de maduración en las dos dosis, frente al tratamiento testigo. No hubo diferencias entre las dos dosis de Vitamina D ₃ . El panel sensorial valoró más tierna la carne del músculo <i>Longissimus lumborum</i> madurado por 14 días, frente al testigo; no ocurrieron cambios en otras características organolépticas.

Cuadro 22. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la suplementación con Vitamina D₃ sobre la calidad de la carne vacuna (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Scanga et al. (2001)	Charolais x Hereford Vaquillonas 192	<i>Longissimus dorsi</i>	Se suplementó con: -- 1, 2, 3, 4 ó 5 X 10 E6 IU/día de vitamina D ₃ , -- 2 ó 4 x 10 E6 IU/día de vitamina D ₃ más 75g de CaCO ₃ ó -- no se suplementó. Los períodos de suplementación fueron de 2, 4, 6 ó 8 días, mediante un único bolo. Maduración por 2, 7, 14 ó 21 días.	La suplementación con vitamina provocó un descenso en el consumo, exceptuando el tratamiento con 1 x 10 E6. La suplementación con vitamina D ₃ incrementó los iones Calcio en sangre en todos los tratamientos y períodos de suministro. Mientras que el uso del CaCO ₃ redujo la concentración de Calcio en sangre. No hubo variación en la fuerza de corte entre los diferentes tratamientos con vitamina D ₃ . La terneza instrumental disminuyó conforme avanzó la maduración.

Cuadro 9. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la suplementación con Vitamina D₃ sobre la calidad de la carne vacuna (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Karges et al. (2001)	Angus × Hereford Novillos 24	<i>Gluteus medius</i> , <i>Biceps femoris</i> , <i>Longissimus dorsi</i> .	Se suplementó con 0 ó 6 x 10 E6 UI/día de vitamina D ₃ (peleteado y mezclado con la dieta) por un período de 4 ó 6 días pre-sacrificio. Maduración por 7, 14, ó 21 días.	Se observó una disminución del consumo a partir del 4-5 día. Los animales suplementados tuvieron mayores concentraciones de Calcio en sangre y dentro de éstos la concentración fue mayor en los que lo recibieron por un mayor período. La fuerza de corte disminuyó significativamente en el músculo <i>Gluteus medius</i> de los animales que habían sido suplementados. Mientras que en los músculos <i>Biceps femoris</i> y <i>Longissimus dorsi</i> ocurrió una interacción del tratamiento de suplementación y el tiempo de maduración. En el <i>Longissimus dorsi</i> los animales suplementados por 6 días, presentaron valores de fuerza de corte menores para los períodos de maduración de 7 y 14 días, frente al control y aquellos que recibieron suplemento sólo de 4 días. Mientras que en el músculo <i>Biceps femoris</i> , la reducción fue significativa cuando se suplementó por 4 días comparado con el control ó aquellos suplementados durante 6 días. A los 7 días de maduración el 50 % de los cortes presentaba valores menores a 3,86 kg; períodos mayores no mejoraron significativamente estos resultados. El músculo <i>Gluteus medius</i> fue el único que mejoro significativamente la fuerza de corte después de 14 días de maduración.

Cuadro 9. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la suplementación con Vitamina D₃ sobre la calidad de la carne vacuna (continuación).

Autor y año	Animales: categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Montgomery et al. (2002)	Bovinos Cruza Novillos 167	<i>Longissimus dorsi</i> , <i>Semimembranosus</i>	Se suplementó con 0, 0,5, 1, 2,5, 5 ó 7,5 x 10 E6 UI/día de vitamina D ₃ , mezclado con la dieta por un período de 9 días antes del sacrificio. Maduración por 7, 10, 14 ó 21días.	Los novillos suplementados con 5 y 7,5 x 10 E6 UI/día, disminuyeron el consumo y la ganancia diaria de peso fue menor. Todos los tratamientos con vitamina D ₃ incrementaron la concentración de Calcio en sangre a partir del día 7 y al momento del sacrificio (> 20 %). Ni las características de las canales (pH y temperatura de la canal 24 h), ni el color del músculo, fueron afectadas por los tratamientos. El tratamiento con 1 x 10E6 de Vitamina D ₃ fue el que generó mayor concentración de Calcio en músculo. Los tratamientos con concentraciones mayores a 1 x 10 E6 incrementaron la concentración de Vitamina D ₃ en músculo e hígado. Existió interacción Vitamina D ₃ x músculo x maduración. El músculo <i>Longissimus dorsi</i> resultó más tierno que el <i>Semimembranosus</i> en todos los tratamientos. Al aumentar los niveles de suplemento, se constató una disminución en la fuerza de corte hasta el día 7 en el músculo <i>Longissimus dorsi</i> , pero hasta el día 10 en el músculo <i>Semimembranosus</i> . A períodos mayores de maduración las diferencias en la fuerza de corte - dentro de cada músculo - resultaron menores. El panel sensorial valoró más tierno el músculo <i>Longissimus dorsi</i> para todos los niveles de suplementación, excepto para el tratamiento con 2,5 x 10 E6 UI/día. En el caso del <i>Semimembranosus</i> resultó más tierno en todos los niveles de suplementación con Vitamina D ₃ . A su vez, el panel sensorial asignó notas de flavor inferiores a los animales suplementados con 5 x 10 E6.

Cuadro 9. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la suplementación con Vitamina D₃ sobre la calidad de la carne vacuna (Continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Feed et al. (2003)	Hereford Vacas 80	<i>Longissimus dorsi</i>	Suministro o no de un sólo bolo de 8 x 10 E6 de vitamina D ₃ por 8 días pre-sacrificio. Maduración por 3 ó 7 días.	No hubo diferencias en las ganancias de peso de las vacas. Se incrementó la concentración de Calcio en sangre (+ 8,3 %). La fuerza de corte no difirió a los 3 días de maduración entre tratamientos, pero sí a los 7 días: las muestras tratadas presentaron una menor fuerza de corte (aproximadamente del orden del 11 %).
Montgomery et al. (2004a)	<i>Bos indicus,</i> <i>Bos taurus</i> (Continental ó Británica) Novillos 142	<i>Longissimus dorsi</i>	Suministro de 0, 0.5, 1 ó 5 x 10 E6 UI/novillo/día, de Vitamina D ₃ por 8 días pre-sacrificio. Maduración por 1 día.	El agregado de 5 x 10 E6 UI/novillo/día, disminuyó el consumo de los animales, a su vez, se observó un incremento de Calcio en sangre en todos los tratamientos que se suministró vitamina D ₃ . No se observó una disminución de la fuerza de corte en ninguno de los tratamientos.

Cuadro 9. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la suplementación con Vitamina D₃ sobre la calidad de la carne vacuna (Continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Sell et al. (2004)	Angus Vacas 24	<i>Longissimus dorsi</i> , <i>Semitendinosus</i> .	Se suplementó con vitamina D ₃ por 7 días pre-sacrificio en diferentes dosis: 0; 5 ó 7,5 x 10 E6 UI/día. Maduración por 1, 7, 14 ó 21 días.	El músculo <i>Longissimus dorsi</i> tendió a incrementar su concentración de Calcio. El músculo <i>Longissimus dorsi</i> de los animales suplementados con 7,5 x 10 E6 tuvo menor fuerza de corte que los otros tratamientos con 7 días de maduración, aunque a igual tiempo de maduración, no existieron diferencias en el músculo <i>Semitendinosus</i> . El panel sensorial no encontró diferencias para los diferentes niveles de vitamina D ₃ , en ninguno de los períodos de maduración evaluados. La maduración por sí sola, mostró un incremento lineal desde 1 a 21 días en la variable terneza.
Wertz et al. (2004)	Cruza Novillos 108	<i>Longissimus dorsi</i> .	Suministro de un bolo de 25-OH D ₃ de 0, 62,5 ó 125 mg a: 4, 7, 21 ó 35 días pre-sacrificio. Maduración 6 ó 14 días.	El uso de un sólo bolo es suficiente para incrementar en sangre la concentración de 25-OH D ₃ , pero no el Calcio. No se observó ningún efecto por suplementar con vitamina D ₃ en la fuerza de corte de la carne; hubo sí una disminución en esta variable debido a la maduración.

Cuadro 9. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la suplementación con Vitamina D₃ sobre la calidad de la carne vacuna (Continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Foote et al. (2004)	Cruza	<i>Longissimus dorsi</i> , <i>Semimembranosus</i> , <i>Infraespinatus</i> .	Experimento 1: 0, 125, 250 ó 500 µg de un bolo 1,25 dihydroxyvitamina D ₃ el día 14 pre- sacrificio.	Tanto el 1,25-(OH) ₂ D ₃ , como el 25-OH D ₃ incrementaron la concentración de Calcio en sangre.
Experimento 1 y 2	Novillos			
Experimento 1	12			
	Experimento 2:		Experimento 2: 0, 50, 87,5 ó 125 mg de 25-OH D ₃ (un bolo) el día 20 pre- sacrificio.	
	12			

Cuadro 9. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la suplementación con Vitamina D₃ sobre la calidad de la carne vacuna (Continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Foote et al. (2004)	Cruza Novillos 33	<i>Longissimus dorsi</i> , <i>Semimembranosus</i> <i>Infraespinatus</i>	Se suplementó con: bolo vacío; 5 x 10 E6 UI/día de vitamina D ₃ desde el día 11 a 3 pre-sacrificio; bolo de 125 mg de 25-OH D ₃ el día 4 pre-sacrificio ó bolo 500 µg de 1,25-(OH) ₂ D ₃ el día 3 pre-sacrificio. Maduración: 8, 14 ó 21 días (músculos: <i>Longissimus dorsi</i> y <i>Semimembra-nosus</i>); 14 ó 21días (<i>Infraespinatus</i>).	La suplementación con vitamina D ₃ incrementó la concentración tanto de la Vitamina D ₃ , así como también de 25OH D ₃ en sangre, hígado, riñón y en los tres músculos. En los animales suplementados con 25-OH D ₃ , el incremento de sí mismo en músculo fue del 50 % menor que cuando se suplemento con la vitamina D ₃ . Al suplementar con 1.25-(OH) ₂ D ₃ se constató un incremento en la concentración en sangre de éste metabolito, pero no varió su concentración en músculo ni en el hígado. La concentración de iones Calcio en sangre y músculo no resultó alterada con 25-OHD ₃ . El tratamiento con 1,25-(OH) D ₃ no afectó la fuerza de corte; en cambio en los tratamientos con Vitamina D ₃ y con 25-(OH) D ₃ , la fuerza de corte en el músculo <i>Longissimus dorsi</i> disminuyó a medida que transcurrió la maduración fueron mayores. Mientras que en el músculo <i>Semimembranosus</i> los valores de fuerza de corte fueron mayores a los 21 días de maduración frente a períodos menores de maduración; el mismo comportamiento se observó en el músculo, <i>Infraespinatus</i> .

Cuadro 23. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la suplementación con Vitamina D3 sobre la calidad de la carne ovina.

Autor y año	Animales: raza, categoría y número.	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Wiegand et al. (2001) Experimento 1	Presencia o ausencia del gen <i>Callipyge</i> Corderos 8	<i>Longissimus dorsi</i>	Los animales se suplementaron por un período de 2 días con vitamina D ₃ mezclada con la ración (1 ó 2 x 10E6 IU/día).	La vitamina aumentó la concentración de Calcio en sangre, pero la utilización de 2 x 10E6 mantuvo la mayor concentración por más tiempo al pasar el período de suministro.
Wiegand et al. (2001) Experimento 2	Presencia o ausencia del gen <i>Callipyge</i> Corderos 32	<i>Longissimus dorsi</i>	Los animales se suplementaron con vitamina D ₃ mezclada con la ración (2 x 10E6 IU/día), por 7 días y el control sin vitamina. Maduración por 1, 7, 14 ó 21 días.	El incremento de Calcio en sangre fue mayor al día 5 posterior a la administración, respecto al control. La concentración de Calcio en el músculo no difirió entre los diferentes tratamientos. El genotipo <i>Callipyge</i> presentó mayores valores de fuerza de corte en su carne, frente a los animales que no presentaban dicho gen, independientemente del período de maduración ó el tratamiento de suplementación con vitamina D ₃ . La fuerza de corte fue menor a los 7 días de maduración cuando se administró la vitamina D ₃ , en los animales que no presentaban el gen <i>Callipyge</i> . La maduración por 21 días resultó más importante en el ablandamiento de la carne, que el suministro de vitamina D ₃ .

Cuadro 24. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la suplementación con Vitamina D3 sobre la calidad de la carne ovina (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número.	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Boleman et al. (2004) Experimento 1	Borregos 26	-----	Suministro de 0, 0,25, 0,5 ó 0,75 x 10E6 UI/cordero/día de vitamina D ₃ por 4 días pre-sacrificio; mediante el mezclado con la dieta o bolos.	Experimento 1: No hubo interacción entre el método de suministro y las variables estudiadas. No hubo diferencias significativas entre los diferentes niveles de Calcio en sangre entre ninguno de los tratamientos y el control. El suministro de 0,5 x 10E6, disminuyó el consumo de los animales.

Cuadro 25. Principales resultados de trabajos que estudiaron el efecto de la suplementación con Vitamina D3 sobre la calidad de la carne ovina (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número.	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Boleman et al. (2004) Experimento 2	Borregos 40	<i>Longissimus lumbrorum</i> , <i>Biceps femoris</i> , <i>Semitendinosus</i> , <i>Semimembranosus</i> .	Sin vitamina ó 0,75 x 10E6 UI vitamina D ₃ . Alimentados por 14 días. Maduración por 5, 10 ó 15 días.	No hubo diferencias en el nivel de Calcio en sangre entre los tratamientos, pero la concentración de Calcio en hígado y riñones, fue más elevada en los animales suplementados frente a los no suplementados. Se registró un incremento en la terneza instrumental atribuible al uso de vitamina D ₃ en el músculo <i>Longissimus lumbrorum</i> , pero no en los otros músculos estudiados. No se registró interacción entre los tratamientos y el período de maduración, excepto en el músculo <i>Biceps femoris</i> , siendo la fuerza de corte menor a los 5 días de maduración. El músculo <i>Longissimus lumbrorum</i> resultó el más tierno de todos los músculos evaluados, mientras que el <i>Semimembranosus</i> fue el más duro; mostrando los otros dos músculos valores intermedios. Para todos los músculos se observó una disminución en la fuerza de corte, conforme transcurría la maduración.

La suplementación con vitamina D₃, causó una disminución en el consumo de los animales, (Karges et al. 2001, Scanga et al. 2001, Montgomery et al. 2002, Montgomery et al. 2004a, Lawrence et al. 2006), pero no se encontraron diferencias significativas en el desempeño animal, (Feed et al., 2003); aunque Montgomery et al. (2002), registraron una disminución en la ganancia final de peso vivo de los animales suplementados (11 kg y 16 kg para los suplementados con 5 y 7,5 x 10 E6 UI/día respectivamente). Scanga et al. (2001), encontraron una disminución del consumo a partir de la suplementación con 1 x 10E6 UI/animal/día. Sin embargo, Montgomery et al. (2002), señalan sólo disminuciones en el consumo con dosis a partir de 5 x 10 E6 UI/animal/día. En este sentido Karges et al. (2001), señalan que a partir del día 4 de suplementación, comienza a registrarse disminuciones en el consumo de los animales tratados. De la misma forma, la suplementación con 2,5-hidroxyvitamina D₃, disminuye el consumo y tampoco tiene efecto en la performance animal (Cho et al. 2006, Lawrence et al. 2006).

Respecto a las características de las canales y del color del músculo, Montgomery et al. (2002), no encontraron diferencias entre los animales suplementados o aquellos que recibieron vitamina D₃ en su dieta.

En los experimentos revisados en los que se estudió el efecto de la vitamina D₃ sobre la concentración de iones Calcio en sangre, en todos, se reportó un incremento de la concentración de éstos; excepto en el experimento de Boleman et al. (2004), en donde se utilizó - como dosis máxima - 0,7 x 10E6 durante 4 días previo al sacrificio.

Lawrence et al. (2006), determinaron que dosis mayores de Vitamina D₃ más próximas al sacrificio podrían ser más efectivas en la acción de aumentar la concentración de Calcio en músculo. Sin embargo, Hidiriglou et al. (1999), trabajando con corderos que habían sido alimentados con niveles correctos de Calcio y vitamina D₃, y luego fueron suplementados con vitamina D₃ y 2,5-hydroxyvitamina D₃ previo al sacrificio, no cambiaron su patrón de eliminación ó distribución de Calcio. De acuerdo a estos resultados, es probable que la respuesta animal, requiera de una deficiencia previa de Calcio o Vitamina D₃.

En bovinos, la concentración de Calcio en sangre es normalmente entre 8 y 10 mg/dl; estando estrechamente regulada por la hormona para-tiroidea, la calcitonina y la vitamina D₃ (Karges et al., 2001).

La suplementación con Vitamina D₃ incrementa la concentración de Calcio en sangre, siendo suficiente una dosis de 1 x 10E6 UI/animal/día, por períodos mayores o iguales a 2 días antes del sacrificio (Scanga et al., 2001). Conforme se incrementa el período de suplementación con Vitamina D₃,

también se incrementa la concentración de Calcio en sangre (Karges et al., 2001); de la misma forma, dosis más altas mantienen las mayores concentraciones de iones Calcio en sangre y por períodos más prolongados (Wiegand et al., 2001).

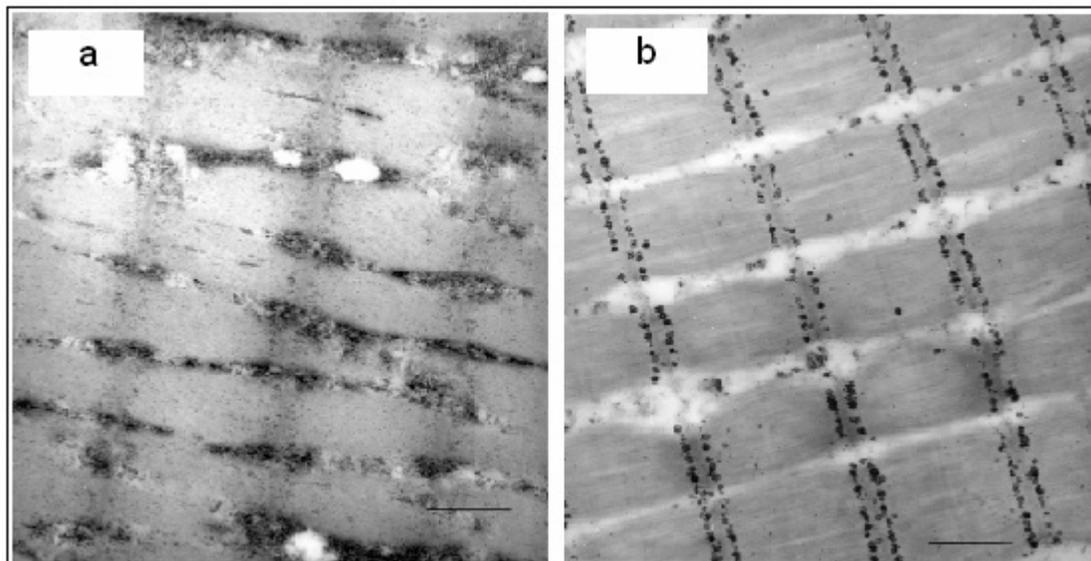
La evidencia revisada respecto al momento a partir del cual la suplementación animal con Vitamina D₃ permite expresar máximas concentraciones de Calcio en sangre, sugiere al día 5 post-suplementación (Swanek et al. 1999, Montgomery et al. 2000, Montgomery et al. 2002, Tipton et al. 2007).

Para los casos en que se recurre a la suplementación con 2,5-hidroxyvitamina Wertz et al. (2004), utilizando 125 mg de 2,5-hidroxyvitamina entre 4 y 35 días pre-sacrificio, no encontraron incremento del Calcio en sangre; estos resultados coinciden con los reportados por Foote et al. (2004), Cho et al. (2006), Lawrence et al. (2006).

De los trabajos revisados, Montgomery et al. (2004b), fueron los únicos que estudiaron la concentración de calcio en músculo y determinaron al suplementar novillos con Vitamina D₃ en niveles de 0,5 a 5 x 10 E6 UI/novillos/día, provocó que la concentración de calcio se incrementara en los componentes celulares del músculo, siendo liberado durante la maduración post-mórtem e incrementando la relación Calcio-proteína en el citosol de la célula.

Con respecto a la concentración de Calcio en músculo, los experimentos revisados al respecto presentan diferencias, atribuibles a la cantidad utilizada para suplementar los animales. Así, Wiegand et al. (2001), no encontraron incrementos en los niveles de Calcio en músculo, pero sí en sangre, sugiriendo - estos autores - la necesidad de incrementar la dosis (> 2 x 10 E6) y/o mejorar el transporte de la vitamina hacia el hígado para su transformación en 2,5-hidroxyvitamina. Mientras, Montgomery et al. (2002), Sell et al. (2004), Tipton et al. (2007), utilizando dosis mayores a 3 x 10 E6 por más de 4 días de suplementación previo al sacrificio encontraron incrementos en los niveles de Calcio en músculo del orden del 20, 18 y 16 % respectivamente.

Montgomery et al. (2004b), determinaron la concentración de Calcio en el músculo *Longissimus dorsi*, post-sacrificio, en novillos a los cuales se les había suministrado diferentes niveles de Vitamina D₃ y observaron que existía una movilización de Calcio desde el retículo sarcoplasmático hacia las miofibrillas. El Calcio se concentraba junto a la línea-Z en la zona de la coyuntura de la banda A/I con el sarcómero, tal cual como se observa en la figura 24.



La línea negra = 1 μm . (a) Gránulos de Calcio se concentraron en el sistema T-terminal y cisternas. Una pequeña porción de los gránulos son evidentes cerca de las líneas Z. (b) Gránulos de Calcio se concentraron en forma masiva cerca de la línea-Z, que constituyen grandes líneas oscuras en el cruce de las Bandas A e I.

Figura 22. Microscopía electrónica del músculo *Longissimus dorsi* de novillos no suplementados con Vitamina D₃ (a) ó suplementados con vitamina D₃ por 8 días (b).

Fuente: Montgomery et al. (2004b).

De acuerdo a Foote et al. (2004), la concentración de iones Calcio en músculo no se incrementó con 2,5-hidroxyvitamina D₃, de igual forma no ocurrió con la concentración en sangre.

Las mejoras en la terniza de la carne por la suplementación con Vitamina D₃, pueden ser explicadas por el incremento de Calcio contenido en las células del músculo y la activación del sistema calpaínico en el músculo, resultando en una mayor proteólisis miofibrilar (Montgomery et al., 2004b).

Karges et al. (2001), encontraron en el músculo *Longissimus dorsi* de animales suplementados con Vitamina D₃, menores cantidades de Tropolina-T frente a cantidades incambiadas en el lote control; sugiriendo una mayor proteólisis atribuible al uso de Vitamina D₃. Estos resultados están en concordancia con Foote et al. (2004), que determinaron un incremento en la proteólisis de esta misma proteína en el músculo *Longissimus* a los 8 días ó a

los 14 días de maduración post-mórtem en el músculo *Semimembranosus*. Estos autores también encontraron un aumento de la proteólisis de esta misma proteína por suplementar con 2,5-hidroxyvitamina D₃ a los 21 días de maduración *post-mortem*. Sin embargo, cuando utilizaron 1,25-dihidroxyvitaminian D₃, no encontraron cambios en la proteólisis de la proteína Tropolina-T.

La respuesta a la utilización de Vitamina D₃ en la terneza instrumental de la carne, no es constante en los diferentes experimentos revisados; las diferencias pueden estar asociadas a: la dosis utilizada, el período de suplementación ó el tiempo entre la suplementación y el sacrificio de los animales.

Swanek et al. (1999), determinaron que la suplementación con Vitamina D₃ a dosis mayores a 5 x 10 E6 UI/animal/día durante 10 días previo al sacrificio mejoraba la terneza instrumental del músculo *Longissimus dorsi* a los 7 días de maduración post-mórtem y utilizando dosis de 7,5 X 10 E6 UI/animal/día durante 7 días la terneza instrumental disminuía entre los 7 y 14 días de maduración; similar tendencia se observó en las valoraciones del panel sensorial. En concordancia con estos resultados, Montgomery et al. (2002), utilizando dosis similares y suplementando por 9 días con Vitamina D₃ previo al sacrificio, reportaron para los músculos *Longissimus dorsi* y *Semimembranosus* una interacción entre el tiempo de maduración y la suplementación con vitamina D₃: mientras que en el *Longissimus dorsi* la interacción se dio hasta el día 7, disminuyendo la fuerza de corte, en el *Semimembranosus* la disminución de la fuerza de corte por efecto de la interacción con la vitamina D₃ ocurrió hasta el día 10 de maduración. El panel sensorial utilizado, coincidió con la tendencia reportada instrumentalmente. Karges et al. (2001), Feed et al. (2003), Sell et al. (2004), también encontraron una reducción en la terneza instrumental del músculo *Longissimus dorsi* a los 7 día de maduración, utilizando dosis de Vitamina D₃ similares o superiores y períodos - también - similares de suplementación. Karges et al. (2001), - además - también encontró una disminución significativa en la fuerza de corte del músculo *Biceps femoris*; aunque en el músculo *Gluteus medius* no hubo interacción, pero sí una menor fuerza de corte a los 21 días de maduración. Contrariamente, Sell et al. (2004), no encontraron diferencias en el músculo *Semitendinosus* y el panel sensorial utilizado tampoco encontró diferencias en ninguno de los músculos (*Longissimus dorsi* y *Semitendinosus*) suplementados con vitamina D₃. Aunque, Montgomery et al. (2000), Foote et al. (2004), sí encontraron una disminución en la fuerza de corte del músculo *Longissimus dorsi* a los 14 días de maduración.

La respuesta diferencial entre los diferentes músculos a la suplementación con Vitamina D₃ puede deberse a: diferentes tipos de fibra

(Foote et al., 2004), a la cinética de la proteólisis post-mórtem y/o a la cantidad de tejido conectivo en los diferentes músculos estudiados (Tipton et al., 2007).

En los trabajos en que se utilizaron dosis menores a 5×10^6 UI/animal/día, no se encontraron diferencias en la terneza instrumental de la carne (Montgomery et al. 2000, Scanga et al. 2001, Montgomery et al. 2004a). Sin embargo, Montgomery et al. (2002), trabajando con dosis menores (a partir de $0,5 \times 10^6$ UI/animal/día) determinaron que conforme se incrementaba la dosis de Vitamina D₃, disminuía la terneza instrumental de la carne.

En los pocos experimentos encontrados en que se trabajó con carne de ovinos, se reportó un comportamiento similar al descrito para los bovinos. Así Wiegand et al. (2001), trabajando en el músculo *Longissimus dorsi*, encontraron en animales suplementados con vitamina D₃ una disminución en los valores de fuerza de corte a los 7 días de maduración post-mórtem, pero sólo en animales que no presentaban el gen *Callipyge*. Por su parte, Boleman et al. (2004), encontraron que la respuesta al suministro de Vitamina D₃ previo al sacrificio, resultó músculo-dependiente conforme transcurría la maduración. Así, en el músculo *Biceps femoris* a los 5 días de maduración se registraron valores menores en la variable fuerza de corte; mientras que en el músculo *Longissimus lumborum* los valores más altos se registraron a los 15 días de maduración. Sin embargo, es importante señalar que en estos 2 últimos trabajos con ovinos, se utilizaron dosis y períodos diferentes de suplementación; mientras en el primero se utilizó una dosis de 2×10^6 IU/animal/día, durante 7 días, en el otro se utilizó $0,75 \times 10^6$ UI/animal/día, durante 14 días, determinando que la comparación entre ellos no resulte muy ilustrativa.

Foote et al. (2004), encontraron que la fuerza de corte no resultó afectada por suplementar con dosis de 1,25-dihidroxyvitamina D₃. En cambio, la suplementación con 2,5-hidroxyvitamina D₃ sí disminuía la fuerza de corte a los 8 días de maduración. Información que está en desacuerdo con Wertz et al. (2004), Cho et al. (2006), a pesar que en ambos experimentos se utilizaron dosis y períodos similares de suplementación.

Montgomery et al. (2000), encontraron incrementos en los niveles de Vitamina D₃ en músculo e hígado, al suplementar con dosis $\geq 5 \times 10^6$ UI/animal/día durante 9 días previo al sacrificio. Más adelante, en otro trabajo, los mismos autores también encontraron incrementos en la concentración de Vitamina D₃ a partir de dosis mayores a 1×10^6 UI/animal/día (Montgomery et al., 2002). Por su parte, Foote et al. (2004), no solo encontraron aumentos en la Vitamina D₃, sino también incrementos en la concentración de 2,5-hidroxivitamina, no sólo en músculo e hígado, sino también en riñón.

Ha sido reportado que el consumo excesivo de Vitamina D₃, resulta tóxico en los animales (Capen 1991, Tipton et al. 2007), y en el hombre (Rennert, 2007). Se conoce con el nombre de hiper-calcemia el trastorno provocado por hiper-vitaminosis D; los síntomas son: anorexia, vómito, estreñimiento (consecuencia de la excitabilidad disminuida del músculo liso gastrointestinal); también puede causar funciones cardíacas anormales, rumia disminuida, pérdida de peso, mineralización excesiva del sistema cardiovascular (Capen, 1991) y descalcificación y debilitamiento de los huesos (Tipton et al., 2007); además de daños en los tejidos blandos y los riñones (Rennert, 2007).

Respecto a la suplementación con 2,5-hidroxyvitamina, Foote et al. (2004), encontraron que la Vitamina D₃ se incrementa en la carne a concentraciones inferiores a la mitad de lo que se incrementaba por suplementar con Vitamina D₃. De esta forma, podría constituirse en una opción más factible para adoptar comercialmente con el propósito de mejorar la terneza de la carne, frente a la suplementación con Vitamina D₃, dado que no se han registrado residuos de Vitamina D₃, como en el caso de suplementación con la misma que pueda afectar la salud de los animales y de los consumidores (Foote et al., 2004).

No obstante, también es posible suplementar con dosis bajas de vitamina D₃ 0,5 x 10E6 UI/animal/día y - de esta forma - constituirse en un medio simple, rápido y de bajo costo, para mejorar la terneza de la carne, sin afectar negativamente el desempeño animal, las características de las canales, o la presencia de residuos en la carne (Montgomery et al., 2002).

2.3.7.3. Calcio oral

Los productores lecheros rutinariamente administran propionato de Calcio - propilen-glicol en gel para incrementar los niveles de Calcio en vacas que sufren de hipo-calcemia (Dukett et al., 2001).

Dukett et al. (1999a), determinaron en novillos cuál era la respuesta en Calcio en la sangre con diferentes niveles de dosificación oral con gel de propionato de Calcio (0 g de Calcio en 0,75 l de agua, 75 g de calcio en 0,75 l de gel y 150 g de calcio en 1 l de gel. Para ello, retiraron sangre de la vena yugular en diferentes períodos post-dosificación: 0, 1, 2, 3, 6, 12 y 24 h. La concentración de Calcio fue mayor para niveles de dosificación entre 75 y 150 g de Calcio, frente al control durante 1, 2 y 3 h post-dosificación. Mientras que a las 6, 12 y 24 h, no se observaron diferencias significativas con el control a 0 h del suministro. Para la dosificación de 150 g de gel, el Calcio en sangre fue

mayor que para el control a 1, 2, 3 y 6 h post-dosificación. A las 12 y 24 horas post-dosificación los niveles de Calcio fueron similares al control y a los valores basales. El Calcio en sangre resultó 36 % mayor a las 3 h, respecto al control. Los autores concluyeron que - para novillos - con una dosis de 150 g de Calcio a las 3 h post-dosificación, es cuando se esperarían las mayores respuestas a esta técnica. Ésta consiste en introducir una bomba unida a una manguera flexible de metal, que se introduce hasta el rumen y luego se hace pasar el gel de Calcio (Hanson et al., 2002).

En el cuadro 11 se presenta un resumen de experimentos que evaluaron el efecto de la administración oral de Calcio sobre la concentración de este elemento en la sangre y/o el desempeño animal (características de la canal y de la carne). Conjuntamente, se evaluó la respuesta en la calidad de la carne a lo largo de la maduración en muestras provenientes de animales que habían recibido o no Calcio oral previo a su sacrificio.

Cuadro 26. Principales resultados de experimentos que estudiaron el efecto de la administración oral de Calcio sobre la concentración de este elemento en la sangre y/o el desempeño de vacunos.

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Duckett et al. (1998, 2001)	(Hereford, Simmental ó Angus) x Salers Novillos 30	<i>Longissimus dorsi</i>	Se dosificaron de 3 a 6 h antes del sacrificio con: 0 ó 1,5 l de un producto comercial (150 g Calcio, 630 g de propionato y 600 g propilen-glicol). Maduración por 2, 7, 14 ó 21 días.	No hubo diferencias entre tratamientos en las características de las canales (Peso caliente, área del ojo de bife, grado de marmoreado USDA). La dosificación con Calcio, incrementó la concentración de éste en el músculo. Los valores de fuerza de corte fueron un 14 y 18 % menor a los 4 y 7 días de maduración en la carne de los novillos dosificados, respectivamente; sin embargo no se registraron diferencias en la fuerza de corte con 14 ó 21 días de maduración. El panel sensorial valoró más tierna la carne de los novillos a los que se les había suministrado Calcio, frente al lote testigo a los 7 días de maduración; aunque los valores de jugosidad y flavor resultaron similares.

Cuadro 27. Principales resultados de experimentos que estudiaron el efecto de la administración oral de Calcio sobre la concentración de este elemento en la sangre y/o el desempeño de vacunos (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Duckett et al. (2000)	Cruza Charolais Novillos y Vaquillonas castradas 24	<i>Longissimus dorsi</i> , <i>Supraspinatus</i> , <i>Semitendinosus</i> .	Los animales se dosificaron 3 a 4 h previo al sacrificio con: 1,5 l de agua ó 1,5 l de una solución comer 150 g de Calcio. Maduración por 1, 3, 4 ó 14 días.	Los niveles de Calcio en sangre fueron 32 % mayor en los animales tratados frente a lote testigo. Los niveles de Calcio libre en el músculo <i>Longissimus dorsi</i> se elevaron un 41 - 84 % en el tratamiento con Calcio frente al sin calcio, 1 y 24 h, respectivamente. Ambas respuestas, resultaron independientes del sexo del animal. Sin embargo, el Calcio total en los otros músculos evaluados, no se diferenció entre tratamientos. Los valores de fuerza de corte en el músculo <i>Longissimus dorsi</i> fueron menores y con menor variación. Mientras que en los otros músculos no se observó una disminución en los valores de la fuerza de corte entre tratamientos, pero sí en la variación de la misma entre el lote tratado con Calcio y el lote testigo.

Cuadro 28. Principales resultados de experimentos que estudiaron el efecto de la administración oral de Calcio sobre la concentración de este elemento en la sangre y/o el desempeño de vacunos (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Pedreira et al. (2003)	3/4 Simenthal +1/4 Nellore Novillos 24	<i>Longissimus dorsi</i>	Los animales se dosificaron 12 h previas al sacrificio con: 0 ó 630 g de propionato de Calcio en 2 l de agua. Maduración por 1, 8 ó 15 días.	No hubo diferencias en las diferentes características de la canal (nivel de engrasamiento, peso canal caliente y fría, área del ojo de bife, pH 0 ó 24 h) entre tratamientos. Se registró menor fuerza de corte, a mayor tiempo de maduración; entre el día 1 y 8 la reducción en la terneza instrumental fue aproximadamente 16 %; mientras que entre el día 8 y 15, fue de 21 %. La fuerza de corte no resultó afectada por la dosificación con propionato de Calcio; la diferencia entre los tratamientos fue de apenas 8,65 %. El panel sensorial no encontró diferencias entre los tratamientos con y sin agregado de Calcio.

Cuadro 29. Principales resultados de experimentos que estudiaron el efecto de la administración oral de Calcio sobre la concentración de este elemento en la sangre y/o el desempeño de vacunos (continuación).

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Hanson et al. (2002,2006)	Cruza Novillos 47	<i>Longissimus dorsi</i> , <i>Semitendinosus</i> y <i>Supraspinatus</i> .	Los animales se dosificaron entre 35 y 125 minutos antes de su sacrificio con: 1 l de agua, 1 l de CaCl ₂ (4,2M) ó 2,5 l de gel de Calcio (producto comercial; 300 g/l de agua). Maduración por 2, 5, 7, 14 ó 21 días.	El tratamiento con CaCl ₂ incrementó los niveles de Calcio en sangre; aunque no hubo diferencias entre el Calcio oral y el tratamiento control. El músculo <i>Longissimus dorsi</i> presentó una concentración de Calcio 5 veces mayor, frente a los otros músculos. La fuerza de corte disminuyó en el músculo <i>Longissimus dorsi</i> a medida que transcurrió la maduración; pero no hubo diferencias significativas entre tratamientos en ninguno de los tiempos evaluados; aunque la fuerza de corte resultó ligeramente más baja en todos los períodos de maduración en las muestras provenientes de animales que habían sido dosificados con Calcio.

Cuadro 30. Principales resultados de experimentos que estudiaron el efecto de la administración oral de Calcio sobre la concentración de este elemento en la sangre y/o el desempeño de ovinos.

Autor y año	Animales: raza, categoría y número	Músculo	Tratamientos	Principales resultados
Duckett et al. (1999a)	Gen <i>Callipyge</i> Corderos 20	<i>Longissimus dorsi</i>	Los corderos se dosificaron 3 h previo al sacrificio con: 0 ó 0,25 l de gel de un producto comercial (25 g de gel de Calcio, 105 g de propionato y 100 g propilenglicol). Los músculos del lado izquierdo de la canal, fueron madurados por: 1, 3, 7, 14 ó 28 días; mientras que los del lado derecho se congelaron (-20 °C) por 14 días, luego se descongelaron y se maduraron por: 1, 3, 7, 14 ó 28 días.	El Calcio en sangre resultó 22 % mayor en los animales dosificados con el gel, frente al lote testigo. No hubo diferencia en los valores de fuerza de corte entre la carne de los corderos dosificados con gel de Calcio, frente al lote testigo. La acción del Calcio resultó independiente en los tratamientos de congelado y/o madurado. Aunque sí se observaron diferencias entre el tratamiento de congelación + maduración, frente aquellos donde la carne fue directamente sometida a diferentes períodos de maduración: la terneza instrumental resultó menor en el tratamiento de congelación + maduración, frente al tratamiento donde el músculo resultó directamente madurado. La tasa de descenso en la terneza instrumental fue mayor en la carne congelada y madurada 14 días, frente a la que sólo se maduró por 28 días. Aunque los autores no lo mencionan esto puede deberse a que no se produzca acortamiento del sarcómero por el congelado rápido (disminuyendo el endurecimiento de la carne durante el rigor) y luego el efecto de la maduración.

La concentración de Calcio en el músculo *Longissimus dorsi*, se incrementó en los tratamientos en que los animales fueron dosificados con este elemento (Duckett et al. 1998, 2001, Hanson et al. 2002, 2006). Sin embargo, Pedreira et al. (2003), no encontraron diferencias significativas en la concentración de Calcio en músculo, pero sí una ligera tendencia (+ 2,8 %) para el lote de animales dosificados. De acuerdo a estos últimos autores la diferencia entre los valores obtenidos entre los diferentes experimentos, se pueden deber a la concentración de Calcio utilizada. En este sentido los experimentos que reportaron diferencias entre tratamientos utilizaron concentraciones de 150 g de calcio, mientras los que no encontraron diferencias entre tratamientos, utilizaron concentraciones de 75 g de Calcio.

Esta tendencia sugeriría que existe alguna sustancia en el gel, que permitiría un rápido alojamiento del Calcio en músculo; quizás ésta sea la razón por la que los niveles de Calcio - en sangre - no variaran con el control, debido a su rápida incorporación al músculo *Longissimus dorsi* (Hanson et al., 2002).

Sin embargo, se han reportado diferencias en la concentración de Calcio entre músculos; éstas diferencias pueden deberse a un mayor suministro de sangre y una mayor vascularización de algunos músculos (por ejemplo: el *Longissimus dorsi*); situación que le permitiría una mayor oportunidad para acaparar el Calcio (Hanson et al., 2002).

Hanson et al. (2002), correlacionaron el contenido de Calcio en músculo y la fuerza de corte a lo largo de la maduración (entre el día 2 y 14), reportaron valores de 47 %, sugiriendo que los músculos con mayor concentración de Calcio, tienden a presentar una mayor respuesta a la maduración en términos de tasa de ablandamiento de la carne, frente aquellos músculos con bajos valores de Calcio.

Estos incrementos en la concentración de Calcio del músculo, son consistentes con la hipótesis de que dichos incrementos podrían aumentar la proteólisis durante la maduración (Hanson et al., 2002). Los trabajos de Duckett et al. (1998), (2000), (2001), encontraron que la administración del gel de Calcio aumentó la actividad de la μ y m-calpaína, entre 12 y 20 %, sin ningún cambio en la actividad de la calpastatina. Esta mayor actividad de la μ - y la m-calpaína en el músculo de los animales dosificados con el gel, sugiere que el total o un porcentaje de la calpaína presente fue activada, posiblemente por cambios en la concentración de Calcio y/o la expresión génica (Dukett et al., 2001).

Dukett et al. (2001), reportaron que la tropolina T estaba presente a los 2 días post-mórtem, tanto en el tratamiento con Calcio, como en el tratamiento sin dicho elemento. En el tratamiento sin Calcio, la proteína continuó presente

hasta los 4 – 7 días. En cambio en el tratamiento con Calcio, la tropolina T estaba completamente degradada a los 7 días; es más, a los 14 días ya no había bandas de tropolina T presentes. En síntesis, en los tratamientos con Calcio existía una mayor actividad proteolítica.

La desaparición de la tropolina T, coincidió con los cambios en la fuerza de corte a los 7 días de maduración en el tratamiento con calcio y a los 14 días de maduración en aquellos animales que no se habían dosificado con calcio (Dukett et al., 2001). Hubo una disminución avanzada durante los primeros 7 días, que no continuó en los días siguientes del período de maduración estudiado en dicho experimento.

En síntesis, los productos de gel de Calcio pueden proveer a la industria cárnica de una herramienta relativamente barata y sencilla para ser utilizada previo al sacrificio de los animales, con aplicaciones pre-faena; que incrementan el Calcio en músculo y en definitiva aceleren la “tiernización” de la carne en el período post-mórtem (Dukett et al., 2001).

Los tratamientos con gel de calcio en bovinos llevados a cabo por el equipo de Dukett, han sido los únicos que han mostrado diferencias significativas en el incremento en la terneza de la carne conforme transcurre la maduración; no disminuyendo los valores finales de fuerza de corte, sino acelerando la tasa de ablandamiento *post-mórtem*. Además la dosificación con gel de Calcio en estos experimentos, mostró una homogenización entre los diferentes músculos estudiados, disminuyendo su variación inicial en terneza.

2.3.8. Algunos comentarios sobre las diferentes tecnologías que involucran Calcio

Con la información revisada en las secciones anteriores, parecería ser que dejando de lado la maduración de la carne, ninguna de las técnicas post-mórtem que se analizaron y que buscan incrementar los niveles de Calcio, con el objetivo de - también - incrementar el efecto de las calpaínas, son efectivas en disminuir la fuerza de corte, o mejorar las valoraciones hechas por el panel sensorial. Sin embargo, éstas sí parecen ser efectivas en acelerar la maduración de la carne de los animales tratados.

La utilización de estas técnicas puede ser útil al disminuir el tiempo de maduración que requerirían para alcanzar los valores de terneza registrados, sin afectar otras características importantes para los consumidores.

Se puede asumir, a su vez, que la carne dura tiene una mayor mejora potencial que la carne que ya de por sí es tierna. Sin embargo, la dureza en la

carne de los animales adultos puede ser más dependiente de los puentes entre el tejido conectivo y las fibras, que de las propiedades de las miofibrillas (Jaturasitha et al., 2004).

Analizando la información referente a los trabajos de investigación sobre inyección y marinación con sales de Calcio; vitamina D₃ y la utilización de geles de Calcio, se observó que independientemente del efecto en sí mismos en la “tiernización” de la carne, la maduración presentó - en general - un efecto más importante en la terneza de la carne, así como un efecto homogeneizador conforme transcurría este proceso.

Todas las técnicas parecen tener efecto en el incremento de Calcio en músculo. Las dietas de referencia para hombres y mujeres son de 1000 a 1300 mg/día; Lawrence et al. (2003a), incrementaron los niveles de Calcio en músculo, y determinaron que un bife (85 g de carne) podría estar aportando entre 10 y 19 % de los valores de Calcio recomendados para ser consumidos diariamente. Esta información podría utilizarse con fines de marketing, promocionando al producto como “enriquecido con calcio” en la etiqueta de mercadeo y mejorar la aceptación por parte del consumidor.

Montgomery et al. (2003), señalan que cualquier proceso que afecte en forma negativa el color de la carne fresca puede dar lugar a una reducción del atractivo para el consumidor y su comercialización. En este sentido, cuando se utilizan soluciones de sales de Calcio se debería tener especial cuidado, ya que - como se discutió en la sección anterior - se puede estar afectando el color de la carne durante la maduración y - a su vez - generar sabores que son rechazados por el consumidor.

Por otro lado, cuando se utiliza Vitamina D₃, puede ocurrir un incremento de ésta en los músculos. El consumo excesivo de Vitamina D₃, resulta tóxico; por lo cual debería atenderse muy seriamente su uso como técnica para mejorar la terneza de la carne y aumentar las investigaciones para conocer con exactitud umbrales de uso, que no afecten la salud de los consumidores.

En síntesis, parecería altamente conveniente continuar avanzando en esta línea de investigación; porque en la utilización de gel de calcio es una técnica que permite no sólo acelerar la maduración, reduciendo el costo de la refrigeración de la carne, sino también mejorar su palatabilidad en menor tiempo, sin afectar otras características de la canal o de la carne y - además - el incremento de Calcio en músculo podría utilizarse como una manera más de promocionar la carne para los consumidores preocupados por su nutrición.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL

El trabajo se realizó en la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (EEMAC) de la Facultad de Agronomía, de la Universidad de la República; en el departamento de Paysandú, Uruguay (32,5° de latitud sur y 58° de longitud oeste), durante el período febrero-mayo 2007 y en el Frigorífico Casablanca, ubicado a 22 km de dicha Estación Experimental.

3.2. ANIMALES

Se utilizaron 60 corderos cruce Southdown x madres F1 (ver anexo II), machos y hembras nacidos en el período del 4 – 23/09/2006. Los corderos proveían de un ensayo de alimentación durante el período del 12/01 - 12/03/2006, en el cual se utilizaron aditivos (monensina y levadura), bajo pastoreo de campo natural mejorado y pradera de 2° año (ver anexo III).

3.3. MANEJO DE LOS ANIMALES, TRATAMIENTOS Y MEDICIONES EN LOS ANIMALES

La sanidad fue idéntica para todos los animales, llevándose adelante una política de dosificación contra parásitos gastrointestinales y vacunaciones (Clostridiosis y Ectima contagioso), de acuerdo al manejo tradicional de la Estación Experimental.

La fecha de sacrificio se determinó cuando los animales alcanzaron el peso vivo y el grado de terminación pre-fijados (escala corporal de 6 puntos; Jeffries, 1961), por la industria para el “operativo cordero pesado” (≥ 32 kg de peso vivo y estado corporal $\geq 3,5$ al sacrificio). Para este trabajo en particular, los animales presentaron un peso vivo de $44,6 \pm 6,2$ kg y un estado corporal de $3,9 \pm 0,23$ (promedio y desvío estándar, respectivamente).

El día previo al sacrificio (22/03/2006), los animales se encerraron a las 6:00 AM, y se mantuvieron con agua y sombra hasta el momento del embarque (9:00 AM). Posteriormente fueron transportados en camión debidamente acondicionado para el transporte de ovinos y desembarcados en el en la playa de espera del Frigorífico Casa Blanca, respetando las normas de bienestar animal. Los corderos se mantuvieron en ayuno hasta el momento del sacrificio 24 h posteriores al encierro, en corrales con acceso a agua y sombra.

Doce horas previo al sacrificio, los corderos fueron estratificados de acuerdo a cada uno de los tratamientos previamente descritos y asignados al

azar a dos tratamientos de calcio: 0.2 l de Levac/animal diluida en agua (84 g propionato de Calcio/animal) versus “testigo” sin dosificación. El propionato de Calcio, se suministró en forma de gel (Levac, Laboratorio Biotay: propionato de Calcio 420 g y Propilenglicol 400 g en un 1 l de producto). Para la dosificación se siguió la técnica descrita por Hanson et al. (2002), que consiste en introducir un caño flexible hasta el rumen (vía sonda esofágica) y luego se hace pasar el gel de Calcio, como se observa en la figura 25. Esta técnica asegura que el gel llegue en forma correcta al rumen, evitando que se forme la gotera esofágica.



Figura 23. Dosificación de los corderos experimentales con gel de Calcio.

El sacrificio de los animales se realizó 12 h posteriores a la dosificación, siguiendo las pautas estándar para la obtención de cortes de exportación.

Luego de 24 h de almacenamiento de la canal a 4 °C, se determinó en la canal fría: el grado de engrasamiento a través de la profundidad de los tejidos sobre la 12^a costilla a 11 cm de la línea media: punto GR (Kirton y Johnson, 1979) y color de la grasa. Sobre muestras del músculo *Longissimus dorsi* y tras 24 h de maduración, se midió el pH (Garrido y Bañón, 2000), para lo cual se utilizó un peachímetro portátil marca Cole-Palmer con un terminal diseñado específicamente para su inserción dentro del músculo; también se determinó el color de la carne mediante un Colorímetro Minolta (modelo CR-300); se realizó la lectura de color del músculo y se registró por triplicado las coordenadas L*, a* y b* (Franco et al., 2008b). Ésta lectura se llevó a cabo después de transcurrida

una hora de haber colocado el músculo en exposición al oxígeno (“blooming”), según Novelo et al. (2008).

Muestras del músculo *Longissimus dorsi* fueron envasadas al vacío y trasladadas al Laboratorio de Calidad Carne de la EEMAC, para ser congeladas inmediatamente a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1 día de maduración), manteniéndose el resto de las muestras en cámara de refrigerado a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 7 días (8 días de maduración) ó 15 días (16 días de maduración), para su posterior análisis de terneza instrumental a través de la cizalla de Warner – Bratzler (Beltrán y Roncales, 2005). Para ello, se procedió a la descongelación de las muestras (durante 24 h a temperatura ambiente); éstas se pesaron, para luego realizar su cocción a baño María hasta alcanzar una temperatura interna de $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Posteriormente se reitero la pesada y se estimaron las pérdidas por cocción, mediante el cociente entre la diferencia de ambos pesos dividido el peso tras la descongelación (Bianchi, 2005a).

3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño resultante fue de bloques al azar generalizados, donde el bloque fue el tratamiento previo. El efecto de los tratamientos (Calcio, maduración e interacción entre los efectos), se estudió mediante análisis de varianza con el procedimiento MIXED del paquete estadístico SAS, (versión 9.03), utilizándose como factores de corrección: el sexo del cordero y la raza materna y como co-variable: la edad del animal.

Para el análisis de las pérdidas por oreo (peso de canal caliente – peso de canal fría/peso de canal caliente x 100) se utilizó la transformación angular. Para analizar la disminución en la fuerza de corte conforme transcurría la maduración, se construyeron intervalos de confianza de 90 y 95 % para comparar las diferencias de la terneza instrumental entre los diferentes tiempos de maduración evaluados para las muestras con y sin calcio.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y DE LA CARNE

En el cuadro 13 se presenta el efecto del agregado de Calcio sobre algunas características de la canal y de la carne para ambos tratamientos.

Cuadro 31. Características de la canal y de la carne, en función del agregado de Calcio. Medias y error estándar.

	Sin Calcio	Con Calcio	Valor de P
Peso de canal caliente	21,19 (\pm 0,62)	21,44 (\pm 0,61)	0,75
Peso de canal fría	20,75 (\pm 0,61)	21,04 (\pm 0,59)	0,71
Rendimiento de canal (%)	50,55 (\pm 0,55)	50,98 (\pm 0,56)	0,52
Pérdidas por oreo (%)	2,08 (\pm 0,34)	1,85 (\pm 0,35)	0,57
GR (mm)	10,97 (\pm 1,10)	10,67 (\pm 1,12)	0,82
pH (24 h)	5,62 (\pm 0,02)	5,62 (\pm 0,02)	0,82
Color grasa			
L*	66,96 (\pm 0,41)	66,79 (\pm 0,42)	0,73
a*	4,29 (\pm 0,39)	3,75 (\pm 0,39)	0,26
b*	24,38 (\pm 0,55)	24,06 (\pm 0,56)	0,62
Color músculo			
L*	42,45 (\pm 0,25)	42,08 (\pm 0,25)	0,21
a*	10,36 (\pm 0,23)	10,34 (\pm 0,24)	0,93
b*	15,53 (\pm 0,15)	15,53 (\pm 0,16)	0,98

Ninguna de las características que se presentan en el cuadro 13 resultaron afectadas por el agregado de Calcio previo al sacrificio.

Con respecto al peso de las canales, estas obtuvieron valores superiores a las requeridas para obtener buenos precios en la comercialización, que según Bianchi (2005a), éstas deben de ser superiores a los 16 Kg. A las canales más pesadas pueden obtener cortes de mayor tamaño, dando la posibilidad de acceder a mejores precios en la comercialización y ampliar el abanico de mercados.

Los valores de rendimiento de canal son similares, aunque algo superiores a los obtenidos por Bianchi (2005a), que determinó que los rendimientos de los corderos cruzados pesados son superiores a los de razas puras.

Son varios los autores que han determinado que las pérdidas por oreo durante el enfriamiento de las canales durante las primeras 24 horas post-sacrificio, se encuentran en torno al 2 %, igual valor al obtenido en este experimento.

Los valores de GR considerados deseables internacionalmente para estos pesos de canal se encuentran en el rango de 8 - 14 mm (Hopkins y Adair, citados por Bianchi et al., 2001), dado que el valor de GR obtenido en este experimento se encuentra en torno a los 10,5 mm, el grado de engrasamiento para las canales bajo estudio son aceptables para la exportación.

Duckett et al. (1998), (2001), Pedreira et al. (2003), tampoco encontraron efecto en el agregado de este elemento en el pH de la carne de novillos cruzados. El valor alcanzado en las primeras 24 horas de almacenamiento se encuentra en torno a los valores mencionados en la bibliografía consultada. Que según Ruiz de Huidobro et al. (2003), este valor debe de ser aproximadamente de 5,5. Por lo tanto el valor de pH obtenido fue adecuado para la no presencia de cortes del tipo "DFD" (Oscuros, Firmes, Secas), o "PSE" (Pálidas, Blandas, Exudativas), que causan problemas para la comercialización, en especial los "DFD", debido a que estos son más comunes en rumiantes según Garibotto (2004).

Con respecto al color de la grasa y de la carne, si se comparan los valores obtenidos por Brito et al. (2002), trabajando sobre el músculo *Longissimus dorsi* de corderos pesados, se encuentran similitudes, pero también diferencias, como en el parámetro a^* ; en dicho estudio este resultó mayor que en el presente trabajo, lo que se puede atribuirse a que los animales tenían una edad al momento del sacrificio cercano a 12 meses.

Kerth et al. (1995), Jaturasitha et al. (2004), Zeola et al. (2005), Lawrence et al. (2006), Zeola et al. (2007b), reportaron cambios en el color (coordenada a^*) de los animales inyectados con sales de Calcio o metabolitos de Vitamina D₃. Mientras que Kong et al. (2006) tampoco reportaron cambios en esta característica por el agregado de calcio, al igual que en este experimento.

En el cuadro 14 se presenta el efecto de los diferentes tratamientos sobre las pérdidas por cocción de la carne de corderos.

Cuadro 32. Pérdidas por cocción en muestras de carne de corderos dosificados o no con gel de Calcio, a lo largo de la maduración.

	Sin Calcio	Con Calcio	Valor de P
1 día	34,47 ($\pm 0,87$) A	34,33 ($\pm 0,90$) A	0,76
8 días	30,49 ($\pm 0,88$) B	30,13 ($\pm 0,90$) AB	0,76
16 días	30,30 ($\pm 0,87$) B	30,86 ($\pm 0,90$) B	0,76

Letras diferentes dentro de las columnas presentan diferencias significativas ($P \leq 0,05$).

La interacción entre tratamientos no resultó significativa. El tiempo de maduración, pero no el agregado de Calcio, afectó las pérdidas por cocción; presentando la carne madurada más tiempo, valores más bajos y por tanto carne más jugosa.

Contrariamente, y de acuerdo a los resultados obtenidos por Koohamarie et al. (1990), Thomson y Dobbie (1997), Chacon (2007), en vacunos, las pérdidas por cocción debido al uso de sales de Calcio, resultaron mayores frente a los animales contemporáneos “testigos”. Mientras que Koohamarie et al. (1990), Zeola et al. (2005), en ovinos, no observaron diferencias en las pérdidas de cocción en la carne de sus animales. En el mismo sentido, Montgomery et al. (2002), no encontraron diferencias suplementando con Vitamina D₃, aunque Lawrence et al. (2006), sí encontraron significativos aumentos en las pérdidas por cocción por el uso de metabolitos de dicha vitamina.

Las pérdidas por cocción fueron mayores a un día de maduración ($P \leq 0,05$), y estas disminuyeron hasta los 8 días, sin diferencias significativas por períodos mayores de almacenaje. En el mismo sentido Dighiero et al. (2003), encontraron pérdidas mayores por cocción a 2 días de maduración y no observaron cambios significativos por períodos mayores, trabajando también con corderos.

4.2. EFECTO DE LA MADURACIÓN SOBRE LA TERNEZA INSTRUMENTAL DE LA CARNE

En la figura 26 se presenta el efecto de la maduración sobre la terneza instrumental de la carne, observándose la disminución en la fuerza de corte conforme aumenta el tiempo de maduración.

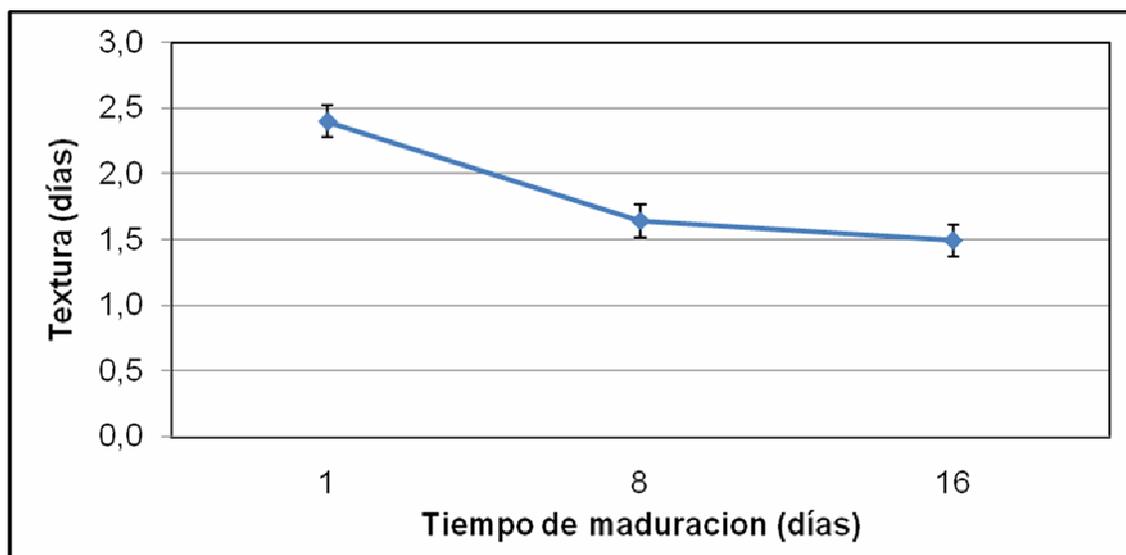


Figura 24. Efecto de la maduración sobre la terneza instrumental de la carne conservada 1, 8 ó 16 días ($p \leq 0,01$).

De todas formas el valor promedio de fuerza de corte, fue menor a 3,1 Kg en todos los períodos de maduración, registro que asegura la aceptabilidad por parte del consumidor según Kerth et al. (1998), quienes trabajando con un panel de 743 consumidores de diferentes ciudades de EE.UU., determinaron que el 100 % de sus consumidores aceptaban la carne con valores iguales o menores a dicho valor.

No obstante, en el presente experimento y tal como se presentó en la figura 27 sólo existieron diferencias significativas entre la carne madurada en el período 1 y 8 días, permaneciendo prácticamente incambiada la terneza instrumental entre el día 8 y 16 de maduración (2,40 vs 1,60 y 1,50 kg, respectivamente, con $p \leq 0,01$).

Estos resultados están de acuerdo con lo expresado por varios autores que encontraron disminuciones significativas en la fuerza de corte sólo hasta determinados períodos de maduración, sin disminuciones adicionales importantes por períodos mayores de maduración en experimentos con vacunos (Byrne et al. 2000, Hanson y Calkins 2001, Gruber et al. 2006, Franco et al. 2008a, 2008b, 2008c) ó con ovinos (Redmond et al. 2001, Ilian et al. 2004a, Ilian et al. 2004b, Bianchi et al. 2004, Bianchi 2005b, Bianchi et al 2006, Bianchi 2007). Según Wheeler y Koochmarai (1994), la carne ovina no presenta mejoras significativas en la fuerza de corte en períodos mayores a 14 días, por

lo cual no sería esperable un aumento de la terneza en las condiciones del experimento en períodos mayores a los ya señalados.

La disminución en la fuerza de corte de la carne durante la maduración está claramente documentado que es ejercida en gran medida por el efecto de las enzimas calpaínicas, las cuales son calcio dependientes. Según Geesink et al. (2001), Hopkins y Thompson (2001b) a medida que transcurre la maduración de la carne se incrementa la concentración de Calcio libre; por lo cual su incremento provoca una mayor actividad de las mismas. De estas enzimas, la μ -calpaína según Dransfield (1994), Hopkins y Thompson (2001b) son activadas cuando el pH es cercano a 6.3 aproximadamente 6 horas después del sacrificio. En las condiciones del presente experimento el valor final fue 5.6, por lo cual es posible que parte del “ablandamiento” de la carne se deba a la activación de dicha enzima. Según Veiseth et al. (2001), la m-calpaína resulta ser muy estable durante los primeros 15 días post-mórtem en la carne del músculo *Longissimus lumborum* de corderos. Dichos resultados están de acuerdo con Boehm et al. (1998); por lo cual es posible que esta enzima no haya sido activada durante el período en estudio, en los animales no dosificados.

Sin embargo es importante señalar que la respuesta a la maduración en términos de terneza instrumental, resultó calcio-dependiente, tal como se discute en la sección 4.3. Dicho de otra forma más “ortodoxa”, existió interacción ($p \leq 0,10$) entre los dos tratamientos evaluados en el presente experimento.

4.3. EFECTO DEL GEL DE CALCIO EN LA TERNEZA INSTRUMENTAL DE LA CARNE

En la figura 27 se presenta el efecto de la maduración sobre la terneza instrumental en las muestras de carne provenientes de animales con y sin gel de Calcio.

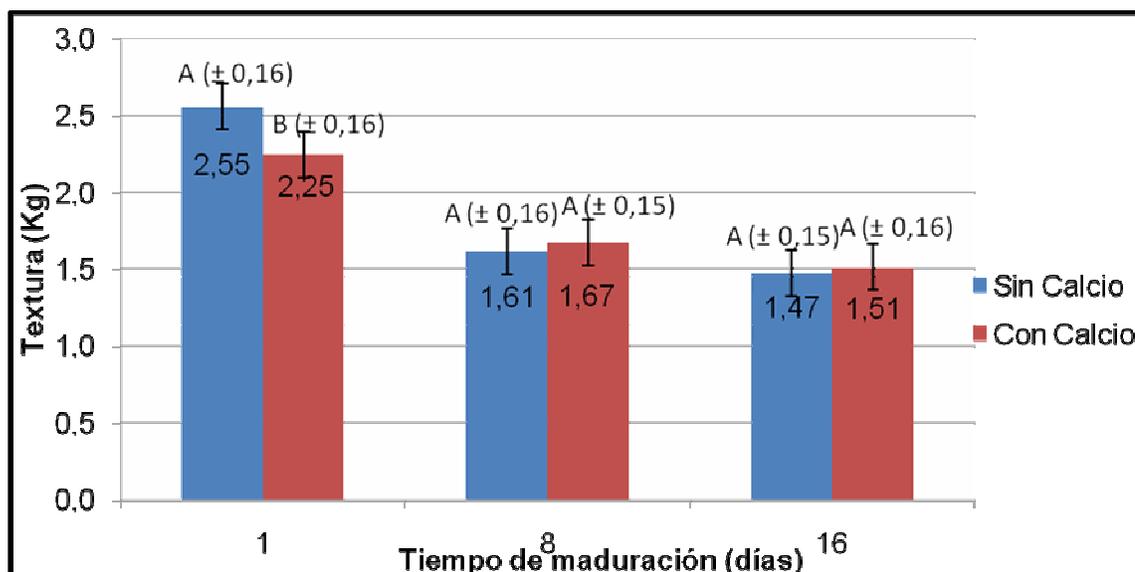


Figura 25. Efecto del agregado de gel de Calcio sobre la terneza instrumental de la carne de cordero a lo largo de la maduración ($p \leq 0,10$).

Debido al efecto “homogeneizador” de la maduración, no se observaron diferencias significativas ($p \leq 0,10$) en el tratamiento con y sin calcio, luego de transcurridos los primeros 8 días.

La refrigeración ocupa una parte importante de los costos de los frigoríficos (Bianchi 2005b, Franco et al. 2008c). Una reducción en el período de almacenamiento, no sólo disminuiría los costos operacionales de la maduración de la carne, sino que - además - aumentaría la capacidad de amortizar la inversión mediante una mayor utilización de las instalaciones, aumentando la capacidad de venta. La utilización de técnicas como el agregado de Calcio previo al sacrificio, aparecería como una opción posible de instrumentar, para - precisamente - cumplir con el objetivo de reducir dichos costos.

El potencial de ablandamiento de la carne (terneza inicial - terneza final/terneza inicial $\times 100$) en los primeros 8 días de maduración resultó significativamente superior en los animales sin tratar frente a los tratados (37 vs 25 %, respectivamente, $p \leq 0,10$), permitiendo el uso de Calcio pre-faena disminuir el período de maduración, y alcanzar valores de terneza semejantes a los que se lograría con tiempos de maduración más altos y también más costosos.

La reducción en la fuerza de corte registrada el primer día, de transcurrida la maduración podría ser atribuida al aumento en la actividad

proteolítica de las calpaínas (Geesink et al., 2006). Según Dransfield (1994), parte de la mejora ocurre por el efecto de la μ -calpaína; aproximadamente el 50% del ablandamiento ocurre antes de las primeras 24 horas. Huff-Lonergan et al. (1995), Warriss (2003), coinciden en señalar la responsabilidad de éstas en el efecto “ablandador” en la carne, debido a la degradación de las fibras del músculo. Según Kong et al. (2006), dicha aceleración en el ablandamiento de la carne por el Calcio está unida a la fractura de la estructura de la miofibrilla del sarcómero, en especial en las bandas-I y el disco-Z, lo cual está de acuerdo con Montgomery et al. (2003), trabajando con vitamina D₃.

Estas enzimas son Calcio dependientes, por lo cual el nivel de Calcio debe ser elevado lo antes posible para obtener la máxima terneza (Dransfield 1994, Koomaraie et al. 1994). Estas enzimas requieren diferentes niveles para ser activadas: mientras la μ -calpaína requiere concentraciones de iones Calcio en torno a 50-100 μ M; la m-calpaína requiere concentraciones de 100-200 mM (Warriss, 2003). La concentración de Calcio requerida para lograr la máxima actividad de la μ -calpaína es tan sólo de 0,5 a 2,0 mM; vale decir que la concentración de Calcio en el músculo post-mórtem, sería suficiente para lograr la máxima actividad autolítica. Sin embargo, para lograr la máxima actividad al sacrificio y a los 7 días post-mórtem en la m-calpaína, se requieren entre 330 y 350 mM de iones Calcio, respectivamente (Boehm et al., 1998). Según Duckett et al. (1998), (2000), (2001), la administración del gel de Calcio aumentó la actividad de la μ y m-calpaína, entre 12 y 20 %, posiblemente por cambios en la concentración de Calcio.

Tanto la vitamina D₃, como el propionato de Calcio en gel provocan un incremento de la absorción de Calcio a nivel del intestino. El gel de Calcio probablemente actúe mediante un incremento pasivo de la difusión de Calcio desde el lumen hacia los fluidos extracelulares, cuando la concentración del lumen es elevada. Por otra parte cuando las concentraciones de vitamina D₃ son elevadas, estas estimularían el transporte activo de iones Calcio a través del epitelio del intestino (Goff y Horst, citados por Duckett et al., 2001).

Duckett et al. (1999a), encontraron que las mayores respuestas del gel de Calcio son esperables hasta 3 horas post-dosificación. Aunque en este experimento se encontró efecto de la interacción del gel de Calcio con la maduración a las 12 horas de dosificación previo al sacrificio, es de esperar que reduciendo este período entre 3 a 6 horas pre-sacrificio, el efecto sea aun mayor debido a una mayor concentración de Calcio en músculo. Hoy en el Uruguay las disposiciones sanitarias, requieren que los animales estén 12 horas mínimo en la playa de espera de los frigoríficos, sin ser manipulados, durante las inspecciones veterinarias por parte del MGAP. Lo cual limita la reducción del tiempo de dosificación-sacrificio.

Por lo cual, se podría realizar la inferencia de que la actividad de la μ -calpaína fue más alta al día 1 de maduración, e incluso se hayan logrado alcanzar cantidades de iones Calcio suficientes para lograr niveles de actividad mayor de la m-calpaína a un día de maduración. Según Warriss (2003) normalmente las calpaínas son inhibidas mediante su unión a las calpastatinas, pero dicha inhibición es impedida por el Calcio, por lo tanto un incremento extra podría disminuir aun más la unión de estas enzimas.

Por lo tanto se puede decir que el efecto del Calcio sobre la disminución del período de maduración, logrado en el descenso de la fuerza de corte a un día de maduración, puede deberse al aumento de la actividad de la μ -calpaína, o de la m-calpaína, o a un aumento de la actividad conjunta de la μ - y m-calpaína, o a la disminución de la inhibición por parte de la calpastatina o la combinación de estos tres factores (μ -, m-calpaína y calpastatina).

La técnica del agregado de gel de Calcio vía sonda esofágica, para la industria presenta inconvenientes, debido a que dificulta la operativa en la playa de espera del frigorífico. Para esto se requiere gel de Calcio y la dosificación debe ser llevada a cavo por lo menos en grupos de 3 operarios, lo cual incurriría un costo adicional, encareciendo el producto final. Siendo necesario realizar un balance de costo-beneficio, para evaluar su conveniencia, más aún si la industria no recibe un sobre precio por este.

Este sobre precio se podía lograr atendiendo las necesidades de determinados nichos de mercado. Según Ferreira (2005), el consumidor europeo y según A.V.A. Resurreccion (2003), también los estadounidenses, están cada vez más preocupado en consumir una dieta nutritiva. Estas dietas están asociadas con el consumo de vegetales frescos y frutas (A.V.A. Resurreccion, 2003), disminuyendo el consumo de carnes rojas (vacuna y ovina). El posible incremento de Calcio en músculo, pueda resultar beneficioso para la salud de los consumidores, contribuyendo al aporte de minerales en su dieta (Warriss, 2003) y aumentando el consumo, debido a que esta información podría utilizarse con fines de marketing, promocionando al producto como "enriquecido con calcio" en la etiqueta de mercadeo y mejorar la aceptación por parte del consumidor (Lawrence et al., 2003a).

5. CONCLUSIONES

A partir de la técnica y los materiales utilizados en nuestras condiciones, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. La dosificación con gel de Calcio, 12 horas pre-sacrificio, con una concentración de 84 g de propionato de calcio/animal no parecería modificar las características de calidad de canal y carne estudiadas en corderos pesados.
2. Conforme transcurre la maduración, ocurrió una disminución en la fuerza de corte del músculo *Longissimus dorsi*, al menos en los primeros 8 días; ya que no se registraron cambios significativos entre el día 8 y 16.
3. La dosificación con gel de Calcio presento interacción con la maduración de la carne. Disminuyendo la fuerza de corte a 1 día de maduración. Sin observarse diferencias significativas entre los días 8 y 16. Por lo cual ésta técnica es una opción para disminuir el tiempo de maduración de la carne.

6. RESUMEN

En el Uruguay la producción de lana ha sido históricamente la principal fuente de ingreso para el rubro ovino, considerando a la carne como un subproducto. A partir de la crisis lanera de la década del 90, ocurrió una respuesta de diferentes líneas de reconversión dentro del rubro ovino (producción de lanas finas, doble propósito y netamente carniceras). A nivel mundial la carne ovina representa aproximadamente el 3% de la producción mundial de carnes, siendo las exigencias de los consumidores cada vez mayores, entre ellas la calidad en su más amplia acepción. Dentro de los parámetros de la calidad, la terneza es el más importante. Esta característica de la carne está definida por la “terneza inicial” y la “terneza final”, la cual resulta de un balance entre dos procesos opuestos: uno que la reduce (unión actino-miosina y acortamiento del sarcómero durante las primeras 24 horas), y otro que produce una mejora en la terneza (debido a un debilitamiento de la unión de proteínas miofibrilares, asociado a un proceso de proteólisis). Esta proteólisis está regida por el sistema enzimático calpaínico, que actúa durante la maduración de la carne, el cual es Calcio-dependiente. La dosificación con gel de Calcio es una técnica habitual en el manejo del rodeo lechero, como medida preventiva o curativa frente a la hipocalcemia, incrementando los niveles de calcio en sangre. También se ha descrito esta técnica como una posible vía de aumentar los niveles de Calcio en músculo, activando las enzimas Calcio-dependientes, que permitirían disminuir el período de maduración de la carne (disminuyendo el período en cámara). Debido a esto, se desarrolló un experimento con el objetivo de determinar el efecto de la dosificación de gel de Calcio y su interacción con la maduración en la carne de corderos pesados. Para ello se utilizaron 60 corderos cruce Southdown x madres F1, machos y hembras, con un peso vivo al sacrificio de $44,6 \pm 6,2$ kg y un grado de terminación de $3,9 \pm 0,23$ (promedio y desvío estándar, respectivamente). Doce horas previas al sacrificio, se dosificaron con 84 g propionato de calcio/animal, por medio de sonda esofágica. Las características de la canal (rendimiento en 2ª balanza, pérdidas por oreo, color de la grasa y punto GR) y de la carne (pH, color y pérdidas por cocción), no resultaron afectadas por la dosificación de gel de Calcio. La terneza instrumental resultó afectada por la maduración, pero sólo en los primeros 8 días de transcurrido el proceso, conforme del día 8 al día 16 no se registraron cambios significativos en estas variables. A su vez, el efecto de la maduración resultó Calcio-dependiente, registrándose las mayores disminuciones en la fuerza de corte de la carne proveniente de los animales dosificados (2,55 vs 2,25 $p \leq 0,10$). Los resultados obtenidos sugieren que el uso de Calcio previo al sacrificio, permitiría obtener resultados similares desde el punto de vista de la “tiernización” de la carne, que maduraciones cercanas a una semana, con lo cual se podrían reducir los costos de frío considerablemente, con

consecuencias positivas desde el punto de vista económico, y neutras desde el punto de vista de la calidad de la carne.

Palabras clave: Cordero pesado cruza; Gel de Calcio; Maduración; Terneza.

7. SUMMARY

Historically, wool production in Uruguay has been the main source of income in the sheep field, considering meat a byproduct. As from the wool crisis in the 90s, there were different reconstruction lines in the sheep field (production of fine wool, dual purpose and purely for meat). Worldwide, lamb represents about 3% of world production of meat, and the demands of the consumers are higher day by day. Considering quality standards, tenderness is the most important aspect. This characteristic of the meat is defined by the "initial tenderness" and "final tenderness," which results from a balance between two opposing processes: one that reduces (actin-myosin union and sarcomere shortening during the first 24 hours) and another that produces an improvement in tenderness (due to the weakness of the union of myofibrillar proteins, associated to proteolysis process). This proteolysis is ruled by the calpain enzyme system, which acts during the ageing of the meat, being calcium dependent. The dose of Calcium gel is a common technique in dairy herd management as a preventive or healing measure towards the hypocalcemia, increasing blood calcium levels. This technique has also been used to increase the levels of calcium in muscles, activating the calcium dependent enzymes which will shorten the ageing period (shortening also the period in cold store). Considering this fact, an experiment was developed with the objective to determine the effect of calcium dose and its interaction with ageing of heavy lambs meat. In this case 60 males and females Southdown x mothers F1 crosses lambs were used, with a slaughter weight of 44.6 ± 6.2 kg and a degree of completion of 3.9 ± 0.23 (average and standard deviation, respectively). Twelve hours before slaughtery, they were administered with 84 g calcium propinat/ animal, via esophageal probe. The carcass characteristics (yield in 2nd scale, air loss, color of fat and GR) and meat (pH, color and cooking losses), not affected by the dose of calcium gel. The instrumental tenderness was affected by ageing, but only the first 8 days after the process, but from day 8 to day 16 there were no significant changes in these variables. At the same time, the ageing effect, was calcium-dependent, registering the most important decreases in the shear force of meat from animals dosed (2,55 vs 2,25 $p \leq 0,10$). These results suggest that the use of calcium before slaughter would yield similar results - from the point of view meat tenderness - to those ones of ageing close to a week, which could reduce cooling costs considerably, with positive consequences from the economic point of view and neutral from the one of meat quality.

Key words: Cross heavy lamb; Calcium gel; Ageing; Tenderness.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. AFERRI, G.; LEME, P.; SILVA, S.; PUTRINO, S.; PEREIRA, A. 2005. Desempenho e características de carcaça de novilhos alimentados com contenido diferentes fontes de lipidos. Revista Brasileira de Zootecnia. 34(5):1651-1658.
2. A.V.A. RESURRECCION. 2003. Sensory aspects of consumer choices for meat and meat products. Meat Science. 66:11–20.
3. BELEW, J.; BROOKS, J.; MCKENNA, D.; SAVELL, J. 2003. Warner–Bratzler shear evaluations of 40 bovine muscles. Meat Science. 64:507–512.
4. BELTRÁN, J.; RONCALÉS, P. 2005. Calidad instrumental de la carne. Determinación de la textura. In: Cañeque V.; Sañudo, C. eds. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Madrid, España, INIA/Ministerio de Educación y Ciencia. pp.237-242.
5. BERHRENDTS, M.; GOODSON, K.; KOOHMARAIE, M.; SHACKELFORD, S.; WHEELER, T.; MORGAN, W.; REAGAN, J.; GWARTNEY, B.; WISE, J.; SAVELL, J. 2005. Beef customer satisfaction; factors affecting consumer evaluations of calcium chloride-injected top sirloin steak when given instructions for preparation. Journal of Animal Science. 83:2869-2875.
6. BIANCHI, G.; GARIBOTTO G.; BENTANCUR, O. 2001. Evaluación de la sobrevivencia, características de crecimiento, peso de la canal y punto GR en corderos pesados Corriedale puros y cruce Texel, Hampshire Down, Southdown y Suffolk. (en línea). Archivos de Medicina Veterinaria. 33(2):261-268. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-732X2001000200016&lng=es&nrm=iso.#7.
7. _____.; BENTANCUR, O.; SAÑUDO, C. 2004. Efecto del tipo genético y del tiempo de maduración sobre la ternera de la carne de corderos pesados. Agrocienza. 8(1):41-50.

8. _____. 2005a. Características productivas, tipificación de canal y calidad de carne a lo largo de la maduración en corderos pesados Corriedale puros y cruzados en sistemas extensivos. Tesis PHD. Zaragoza, España. Universidad de Zaragoza. 100 p.
9. _____. 2005b. La maduración como proceso tecnológico mejorador de la calidad de la carne de cordero. *Lana Noticias*. 140:33-38.
10. _____. 2006a. Alternativas tecnológicas para mejorar la ternera de la carne de cordero. *Cangüé*. no. 28:10-15.
11. _____.; BENTANCUR, O.; GARIBOTTO, G.; FEED, O.; FRANCO, J.; SANUDO, C. 2006b. Efecto del tiempo de maduración *postmortem* sobre la calidad de la carne de cordero Corriedale y su cruce. *Agrociencia*. 10(1):81-87.
12. _____. 2007. Alternativas tecnológicas para la producción de carne ovina de calidad en sistemas pastoriles. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 283 p.
13. _____.; GARIBOTTO, G. 2008. ¿Lana o carne? La oveja "embretada". *El País Agropecuario*. no. 155:30-35.
14. BOEHM, M.; KENDALL, T.; THOMPSON, V.; GOLL, D. 1998. Changes in the calpains and calpastatin during postmortem storage of bovine muscle. *Journal of Animal Science*. 76:2415–2434.
15. BOLEMAN, C.; McKENNA, D.; RAMSEY, W.; PEEL, R.; SAVELL, J. 2004. Influence of feeding vitamin D3 and aging on the tenderness of four lamb muscles. *Meat Science*. 67:185–190.
16. BREWER, P.; CALKINS, C.; ANDERSON, R.; KLOPFENSTEIN, T.; RASBY, R. 2003. Carcass and palatability characteristics of calf-fed and yearling finished steers. (en línea). *Nebraska Beef Report* 2003:68-70. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en <http://beef.unl.edu/beefreports/2003.pdf>.
17. BRITO, G.; SAN JULIAN, R.; MONTOSI, F.; CASTRO, L.; ROBAINA, R. 2002. Caracterización de la ternera, pH, de la temperatura y color post-mortem en corderos pesados machos y hembras: resultados preliminares. In: Montossi F. ed. *Investigación aplicada a la cadena agroindustrial cárnica, avances obtenidos; carne ovina de calidad*. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 125-134.

18. BYRNE, C.; TROY D.; BUCKLEY, D. 2000. Postmortem changes in muscle electrical properties of bovine M. *Longissimus dorsi* and their relationship to meat quality attributes and pH fall. *Meat Science*. 54:23-34.
19. CAINE, W.; AALHUS, J.; BEST, D.; DUGAN, M.; JEREMIAH, L. 2003. Relationship of texture profile analysis and Warner-Bratzler shear force with sensory characteristics of beef rib steaks. *Meat Science*. 64:333-339.
20. CAMOU, J.; MARCHELLO, J.; THOMPSON, V.; MARES, S.; GOLL, D. 2007. Effect of postmortem storage on activity of μ - and m-calpain in five bovine muscles. *Journal of Animal Science*. 85:2670-2681.
21. CANO, G. Manual para la operación y funcionamiento de almacenes frigoríficos de productos cárnicos. Roma, Italia, FAO. 143 p. (Estudio FAO. Producción y sanidad animal no. 92).
22. CAPEN, C. 1991. Las hormonas reguladoras del calcio: hormonas paratiroidea, calcitocina y colecalciferol. In: McDonald, L. ed. *Endocrinología veterinaria y reproducción*. 4ª ed. México, D.F., Interamericana-McGraw Hill. pp.91-178.
23. CARDELLINO R. 2007. Reflexiones al finalizar la zafra lanera 2006/07 en Uruguay. ¿Adónde va el ovino? *El País Agropecuario*. no. 154:31-34.
24. CHACON, A. 2007. Efecto de la inyección de CaCl_2 sobre la suavidad del corte de solomo (outside). *Agronomía Mesoamericana*. 18(1):37-54.
25. CHO, Y.; CHOI, M.; HWANG, I.; KIM, Y.; MYUNG, K. 2006. Effects of 25-hidroxivitamin D3 and manipulated dietary cation-anion deference on tenderness of beef from cull native Korean cows. *Journal of Animal Science*. 84:1481-1488.
26. CHOUY, J. 2002. Situación y perspectivas del principal rubro exportador uruguayo; la carne del mañana. *El País Agropecuario*. no. 154:31-34.
27. _____. 2003. Señora vaca; usted sabe trabajar. *EL País Agropecuario*. no. 106:4-8.

28. _____.; JIMÉNEZ DE ARÉCHAGA, P. 2004. Paradojas y porfías; pocas ovejas, muchos negocios. El País Agropecuario. no. 113:22-24.
29. _____.; LUSSICH, N. 2005. 2004 el año de los 20 récords. El País Agropecuario. no. 119:8-18.
30. _____. 2006a. Alegrías carnales. Méritos propios y regalos ajenos. El País Agropecuario. no. 133:4-6.
31. _____. 2006b. Informe ¿Oportunidad inmejorable o bonanza efímera? ¡Viva Chile, carne! El País Agropecuario. no. 134:4-10.
32. _____. 2006c. Producción cárnica; una historia azarosa y un futuro promisorio. Crecimiento al trote. El País Agropecuario. no. 142:10-11.
33. _____. 2006d. Uruguay entró en el mapa del mundo carnico como un actor de primer orden. La carne está de fiesta. El País Agropecuario. no. 141:4-6.
34. _____. 2007a. Un escenario excepcional, campo arriba, récords que caen a pedazos. El País Agropecuario. no. 142:10-11.
35. _____. 2007b. Un escenario excepcional, se exportó 73% del total de carne en gancho, la carne que viaja. El País Agropecuario. no. 142:12-13.
36. _____. 2008a. ¿Águila o perdiz? La vaca que vuela. El País Agropecuario. no. 156:4-6.
37. _____.; JIMÉNEZ DE ARÉCHAGA, P.; LUSSICH, N. 2008b. La crisis llegó. El País Agropecuario. no. 165:10:23.
38. _____. 2008c. Ejercicio agrícola ganadero; faena, exportaciones, precios, stock final. Carne; menor producción con precios en alza. El País Agropecuario. no. 161:24-28.
39. CHRISTENSEN, M.; YOUNG, R.; LAWSON, M.; LARSEN, L.; PURSLOW, P. 2003. Effect of added μ -calpain and post-mortem storage on the mechanical properties of bovine single muscle fibres extended to fracture. Meat Science. 66:105–112.

40. _____.; LARSEN, L.; ERTBJERG, P.; PURSLOW, P. 2004. Effect of proteolytic enzyme activity and heating on the mechanical properties of bovine single muscle fibres. *Meat Science*. 66:361–369.
41. DELGADO, E.; GEESINK, G.; MARCHELLO, J.; GOLL, D.; KOOHMARAIE, M. 2001. The calpain system in three muscles of normal and callipyge sheep. *Journal of Animal Science*. 79:398–412.
42. DIGHIERO, A.; MONTOSI, F.; BRITO, G.; BONILLA, O.; ROVIRA, P.; CASTRO, L. 2009. Caracterización de la calidad de la canal y la carne de Corderos Pesados y Super Pesados Romney Marsh en el sistema arroz-pasturas de la UPAG-INIA Treinta y Tres. (en línea). Montevideo, Uruguay. Sociedad de Criadores de Romney. 10 p. Consultado 12 dic. 2009. Disponible en: http://www.romney.com.uy/publicaciones/articulo_upag04.pdf 18/03/09.
43. DIKEMAN, M.; HUNT, M.; ADDIS, P.; SCHOENBECK, H.; PULLEN, M.; KATSANIDIS, E.; YANCEY, E. 2003. Effects of postexsanguination vascular infusion of cattle with a solution of saccharides, sodium chloride, and phosphates or with calcium chloride on quality and sensory traits of steaks and ground beef. *Journal of Animal Science*. 81:156–166.
44. DRANSFIELD, E. 1994. Optimisation of tenderisation, ageing and tenderness. *Meat Science*. 36:105-121.
45. DUCKETT, S.; KLEIN, T.; ANDRAE, J.; SANCHEZ, W. 1998. Pre-harvest tenderization through oral calcium gel administration. *Journal of Animal Science*. 76. Suppl.1:156.
46. _____.; ANDRAE, J.; PRITCHARD, G.; CUVALA, S.; WATSON, K. 1999a. Effects of oral calcium propionate dose level on serum calcium levels of feedlot steers. *Journal of Animal Science*. 77. Suppl.1:241.
47. _____.; _____.; _____.; _____.; _____.; KUBER, P.; SNOWDER, G. 1999b. Pre- and post-harvest tenderization of callipyge lamb. *Journal of Animal Science*. 77. Suppl.1:170.

57. GARRIDO, M.; BAÑÓN, S. 2000. Medidas del pH. In: Cañeque V.; Sañudo, C. eds. Metodología para el estudio de la canal y de la carne en rumiantes. Madrid, España, Ministerio de la Ciencia y Tecnología/INIA. pp.147-155.
58. GEESINK, G.; KOOHMARAIE, M. 1999. Effect of calpastatin on degradation of myofibrillar proteins by μ -calpain under postmortem conditions. *Journal of Animal Science*. 77:2685–2692.
59. _____; _____. 2000. Ionic strength-induced inactivation of μ -calpain in postmortem muscle. *Journal of Animal Science*. 78:2336–2343.
60. _____; TAYLOR, R.; BEKHIT, A.; BICKERSTAFFE, R. 2001. Evidence against the non-enzymatic calcium theory of tenderization. *Meat Science* 59:417–422.
61. _____; _____.; KOOHMARAIE, M. 2005. Calpain 3/p94 is not involved in postmortem proteolysis. *Journal of Animal Science*. 83:1646–1652.
62. _____; KUCHAY, S.; CHISHTI, A.; KOOHMARAIE, M. 2006. μ -calpain is essential for post-mortem proteolysis of muscle proteins. *Journal of Animal Science*. 84: 2834-2840.
63. GERELT, B.; RUSMAN, H.; NISHIUMI, T.; SUZUKI, A. 2005. Changes in calpain and calpastatin activities of osmotically dehydrated bovine muscle during storage after treatment with calcium. *Meat Science* 70:55–61.
64. GONZALEZ, C.; SALITTO, V.; CARDUZA, F; PAZOS, A.; LASTA, J. 2001. Effect of calcium chloride marination on bovine *Cutaneus trunci* muscle. *Meat Science*. 57:251-256.
65. GRATTAROLA, M.; CASARETTO, A. 2007. A estos precios de la carne vacuna. ¿El ovino tiene vigencia? *Lana Noticias*. 146:34-37.
66. GRUBER, S.; TATUM, J.; SCANGA, J.; CHAPMAN, P; SMITH, G.; BELK, E. 2006. Effects of postmortem ageing and USDA quality grade on Warner-Bratzler shear force values of seventeen individual beef muscles. *Journal of Animal Science*. 84:3387-3396.

67. GÜNTHER FOODPROCESSING. 2007. PI 300-2/PIH 600-4 Inyectores servo de salmuera automáticos ®. (en línea). s.l. 4 p. Consultado 10 feb. 2009. Disponible en http://www.guenther-foodtech.de/en/images/stories/pdf%20produktedetails/Produktinfo%20PIH%20300-2_600-4.pdf.
68. HANSON, D.; CALKINS, C. 2001. The effects of post-harvest time and temperature on glycolytic potential of beef muscle. (en línea). Nebraska Beef Report 2001:106-108. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en <http://beef.unl.edu/beefreports/2001.pdf>.
69. _____; _____; HORTON, J. 2002. Oral dosage with NutroCAL™ (Calcium Propionate) to enhance beef tenderness (en línea). Nebraska Beef Report 2002:87-89. Consultado 15 nov. 2008. Disponible en <http://beef.unl.edu/beefreports/2002.pdf>.
70. _____; _____; _____. 2006. The effect of preharvest calcium loading in tenderness of beef *Longissimus*, *Supraespinatus* and *Semitendinosus* muscle. Journal of Muscle Foods. 17(2):155-164. Consultado 15 nov. 2008. Disponible en <http://www.ingentaconnect.com/content/bsc/jmf/2006/00000017/0000002/art00003>.
71. HERNÁNDEZ, J. 2005. ALC y el crecimiento de la demanda mundial de carne. (en línea). Comuniica On Line N4. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en http://www.iica.org.uy/online/coyuntura_21doc_.asp.
72. HIDIRIGLOU, H.; ZHAO, X.; RAFFY, S.; TOUTAIN, P. 1999. Pharmcokinetic study of ⁴⁵Ca administred intravenously following intramuscular injection of vitamin D3 or 25-hydroxyvitamin D3 in early weqnd lambs. Comparative Biochemistry and Physiology. 122 (part 2):227-282.
73. HOPKINS, D.; LITTLEFIELD, P.; THOMPSON, J. 2000. A research note on factors affecting the determination of myofibrillar fragmentation. Meat Science. 56:19-22.
74. _____; THOMPSON, J. 2001a. Inhibition of protease activity 2. Degradation of myofibrillar proteins, myofibril examination and determination of free calcium levels. Meat Science. 59:199–209.

75. _____.; _____. 2001b. The relationship between tenderness, proteolysis, muscle contraction and dissociation of actomyosin. *Meat Science*. 57:1-12.
76. _____.; _____. 2002. The relationship between post-mortem calcium concentration or pH and indicators of proteolysis in ovine muscle. *Meat Science*. 61:411–414.
77. HUF-LONERGAN, E.; PARRISH, F. JR.; ROBSON, R. 1995. Effects of postmortem aging time, animal age, and sex on degradation of titin and nebulin in bovine *Longissimus* muscle. *Journal of Animal Science*. 73:1064-1073.
78. ILIAN, M.; BEKHIT, A.; BICKERSTAFFE, R. 2004a. Does the newly discovered calpain 10 play a role in meat tenderization during post-mortem storage? *Meat Science*. 66:317–32.
79. _____.; _____.; _____. 2004b. The relationship between meat tenderization, myofibril fragmentation and autolysis of calpain 3 during post-mortem aging. *Meat Science*. 66:387–397.
80. _____.; _____.; STEVENSON, B.; MORTON, J.; ISHERWOOD, P.; BICKERSTAFFE, R. 2004c. Up- and down-regulation of longissimus tenderness parallels changes in the myofibril-bound calpain 3 protein. *Meat Science*. 67:433–445.
81. JATURASITHA, S.; THIRAWONG, P.; LEANGWUNTA, V.; KREUZER, M. 2004. Reducing toughness of beef from *Bos indicus* draught steers by injection of calcium chloride; effect of concentration and time postmortem. *Meat Science*. 68:61–69.
82. JEFFRIES, B. 1961. Body condition scoring and its use in management. *Tasmanian Journal of Agriculture*. 32:19-21.
83. JI, R.; TAKAHASHI, K. 2006. Changes in concentration of sarcoplasmic free calcium during post-mortem ageing of meat. *Meat Science*. 73:395–403.

84. JIMÉNEZ DE ARÉCHAGA, C.; PRAVIA, M.; XAVIER, M. 2002. Caracterización de la terneza en el proceso de producción de carne vacuna en el Uruguay y su predicción utilizando las principales variables pos mortem, pH, temperatura y color. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. Uruguay. 134 p.
85. JOSEPH, R. 1996. Very fast chilling of beef and tenderness — a report from an EU concerted action. (en línea). Meat Science. 43:217-227. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6T9G-3Y46306-K&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=e33787e371d169ddd4ab1a1d3c4d065.
86. KARGES, K.; BROOKS, J.; GILL, D.; BREAZILE, J.; OWENS, F.; MORGAN, J. 2001. Effects of supplemental vitamin D₃ on feed intake, carcass characteristics, tenderness, and muscle properties of beef steers. Journal of Animal Science. 79:2844–2850.
87. KERTH, C.; MILLER, M.; RAMSEY, C. 1995. Improvement of beef tenderness and quality traits with calcium chloride Injection in beef lions 48 hours postmortem. Journal of Animal Science. 73:750-756.
88. _____; CROCKETT, K.; MILLER, M.; RAMSEY, C. 1998. Consumer tenderness evaluation of beef loin steaks cooked to a medium degree of doneness. Journal of Animal Science. 76 (Suppl. 1):24.
89. KILLINGER, K.; CALKINS, C.; UMBERGER, W.; FEUZ, D.; ESKRIDGE, K. 2001. Consumer acceptance and value of strip steaks differing in marbling and country-of-origin. (en línea). Nebraska Beef Report 2001:96-98. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en <http://beef.unl.edu/beefreports/2001.pdf>.
90. KONG, B.; DIAO, X.; XIONG, Y. 2006. Postmortem calcium chloride injection alters ultrastructure and improves tenderness of mature Chinese Yellow Cattle *Longissimus* muscle. Journal of Food Science 71(4):124-129.

91. KOOHMARAIE, M.; WHIPPLE, G.; CROUSE, J. 1990. Acceleration of postmortem tenderization in lamb a Braham-cross beef carcasses through infusion of calcium chloride. *Journal of Animal Science*. 68:1278-1283.
92. _____.; WEELER, T.; SHACCKELFORD, S. 1994. Beef tenderness: regulation and prediction. *In*: International Congress Beef Vanguard 94 (1st., 1994, Buenos Aires, Argentina). Proceedings. s.n.t. s.p.
93. _____.; DOUMIT, M.; WHEELER, T. 1996. Meat toughening does not occur when rigor shortening is prevented. *Journal of Animal Science*. 74:2935–2942.
94. _____.; SHACKELFORD, S.; WHEELER, T. 1998. Effect of prerigor freezing and postrigor calcium chloride injection on the tenderness of callipyge *Longissimus*. *Journal of Animal Science*. 76:1427–1432.
95. KRISTENSEN, L.; CHRISTENSEN, M.; ERTBJERG, P. 2006. Activities of calpastatin, μ -calpain and m-calpain are stable during frozen storage of meat. *Meat Science* 72:116–120.
96. KIRTON, A.; JOHNSON, D. 1979. Interrelationships between GR and other lamb carcass fatness measurements. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*. 39:194-201.
97. KUBER, P.; DUCKETT, S.; BUSBOOM, J.; SNOWDER, G.; DODSON, M., VIERCK, J.; BAILEY, J. 2003. Measuring the effects of phenotype and mechanical restraint on proteolytic degradation and rigor shortening in callipyge lamb *longissimus dorsi* muscle during extended aging. *Meat Science*. 63:325–331.
98. _____.; BUSBOOM, J.; HUFF-LONERGAN, E.; DUCKETT, S.; MIR, P.; MIR, Z.; McCORMIK, R.; DODSON, M.; GASKINS, C.; CRONRATH, J.; MARKS, D.; REEVES, J. 2004. Effect of biological type and dietary fat treatment on factors associated with tenderness I. Measurements on beef *Longissimus* muscle. *Journal of Animal Science*. 82:770-778.
99. LAMETSCH, R.; ROEPSTORFF, P.; MØLLER, H.; BENDIXEN, E. 2004. Identification of myofibrillar substrates for μ -calpain. *Meat Science*. 68:515–521.

100. LAWRENCE, T.; DIKEMAN, M.; HUNT, M.; KASTNER, C.; JOHNSON, D. 2003a. Effects of calcium salts on beef *Longissimus* quality. *Meat Science*. 64:299–308.
101. _____.; _____.; _____.; _____.; _____. 2003b. Staged injection marination with calcium lactate, phosphate and salt may improve beef water-binding ability and palatability traits. *Meat Science*. 65:967–972.
102. _____.; _____.; _____.; _____.; _____. 2004. Effects of enhancing beef *longissimus* with phosphate plus salt, or calcium lactate plus non-phosphate water binders plus rosemary extract. *Meat Science*. 67:129–137.
103. LAWRENCE, R.; DOYLE, J.; ELLIOTT, R.; LOXTON, I.; MCMENIMAN, J.; NORTON, B.; REID, D.; TUME, R. 2006. The efficacy of a vitamin D3 metabolite for improving the myofibrillar tenderness of meat from *Bos indicus* cattle. *Meat Science*. 72:69-78.
104. LAWRIE, R. 1966. *Ciencia de la carne*. Zaragoza, España, Acribia. 380 p.
105. McDONALD, P.; EDWARDS, R.; GREENHALGH, J.; MORGAN, C. 1995. *Nutrición animal*. Zaragoza, España, Acribia. 395 p.
106. McGEE, M.; HENRY, K.; BROOKS, J.; RAY, F.; MORGAN, J. 2003. Injection of sodium chloride, sodium tripolyphosphate, and sodium lactate improves Warner–Bratzler shear and sensory characteristics of pre-cooked inside round roasts. *Meat Science*. 64:273–277.
107. MADDOCK, K.; HUFF-LONERGAN, E.; ROWE, L.; LONERGAN, S. 2006. Effect of oxidation, pH, and ionic strength on calpastatin inhibition of μ - and m-calpain. *Journal of Animal Science*. 84:925–937.
108. MONTGOMERY, J.; PARRISH, JR F.; BEITZ, D.; HORST, R.; HUFF-LONERGAN, E.; TRENKLE, A. 2000. The use of vitamin D3 to improve beef tenderness. *Journal of Animal Science*. 78:2615–2621.

109. _____.; CARR, M.; KERTH, C.; HILTON, G.; PRICE, B.; GALYEAN, M.; HORST, R.; MILLER, M. 2002. Effect of vitamin D₃ supplementation level on the postmortem tenderization of beef from steers. *Journal of Animal Science*. 80:971–981.
110. _____.; PARRISH, JR F.; OLSON, D.; DICKSON, J.; NIEBUHR, S. 2003. Storage and packaging effects on sensory and color characteristics of ground beef. *Meat Science*. 64:357–363.
111. _____.; BLANTON, J.; HORST, JR. R.; GALYEAN, M.; MORROW, K.; ALLEN, JR. V.; WESTER, D.; MILLER, M. 2004a. Effect of supplemental vitamin D₃ concentration on concentrations of calcium, phosphorus, and magnesium relative to protein in subcellular components of the longissimus and the distribution of calcium within *Longissimus* muscle of beef steers. *Journal of Animal Science*. 82:2742–2749.
112. _____.; GALYEAN, M.; HORST, R.; MORROW, K. JR.; BLANTON, J. JR.; WESTER, D.; MILLER, M. 2004b. Supplemental vitamin D₃ concentration and biological type of beef steers. I. Feedlot performance and carcass traits. *Journal of Animal Science*. 82:2050-2058.
113. MONTOSI, F.; SAÑUDO, C. 2004. Evolución y promoción de la calidad de la carne y otros productos agroalimentarios uruguayos en base a los estándares de calidad de la Unión Europea y en función de distintos sistemas productivos del Uruguay: componente carne. s.n.t. 56 p.
114. _____.; SAN JULIÁN, R.; BRITO, G.; VAZ MARTINS, D.; LUZARDO, S.; DEL CAMPO, M.; FERNÁNDEZ, E.; HELGUERA, L.; LA MANNA, A.; DE BARBIERI, I.; NOLLA, M.; MESSA, Á.; VON ACHENBACH, A.; CASTRO, L.; ROBAINA, R. 2005. Conociendo la aceptación de nuestras carnes ovinas y bovinas en Europa. *Revista INIA*. 5:47-48.
115. _____. 2007. Visión estratégica para la innovación de la ganadería de carne. Más allá del auge de precios. *El País Agropecuario*. no. 152:6-8.

116. _____.; BRITO, G.; SAN JULIÁN, R.; LUZARDO, S.; DEL CAMPO, M.; VAZ MARTINS, D.; LA MANNA, A.; SAÑUDO, C. 2008. Diferenciación y valorización de la carne ovina y bovina del Uruguay en Europa. *Revista INIA*. 14:2-7.
117. NOVELO R.; FRANCO J.; BIANCHI G.; FEED O.; BENTANCUR O.; BENIA P.; STEFANELL V. 2008. Efecto de la temperatura de refrigeración sobre la calidad de la carne de novillos Holstein a lo largo de la maduración. (en línea). *Técnica Pecuaria en México*. 46(2):137-145. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en <http://www.tecnicapecuaria.org.mx/trabajos/200804083939.pdf>.
118. ODDY, V.; HARPER, G.; GREENWOOD, P.; McDONAGH, M. 2001. Nutritional and developmental effects on the intrinsic properties of muscles as they relate to the eating quality of beef. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 41:921-942.
119. OLSON, D.; PARRISH, F. JR. 1977. Relationships of myofibril fragmentation index to measures of bisect tenderness. *Journal of Food Science*. 42:506-509.
120. ORDEIX, M.; FERREIRA, G. 2001. Competitividad y coordinación en la cadena de carne bovina. Montevideo, Uruguay, INIA. 78 p. (Actividades de Difusión no. 277).
121. EL PAÍS AGROPECUARIO. 2007. Más lana sucia y menos productos elaborados. Crecen las exportaciones ovinas. *El País Agropecuario*. no. 151:47.
122. PASCALE, BARON, C.; JACOBSEN, S.; PATRICK, P. 2004. Cleavage of desmin by cysteine proteases; calpains and cathepsin B. *Meat Science*. 68:447-456.
123. PEACHEY, B.; PURCHAS, R.; DUIZER, L. 2002. Relationships between sensory and objective measures of meat tenderness of beef m. *Longissimus thoracis* from bulls and steers. *Meat Science*. 60:211-218.

124. PEDREIRA, A.; LEME, P.; PEREIRA, A.; FILHO, A. 2003. Propionato de cálcio no amaciamento do músculo *Longissimus dorsi* de bovinos de corte. (en línea). Revista Brasileira Zootecnia. 32(5):1213-1219. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982003000500023.
125. PERRY, D.; THOMPSON, J.; HWANG, H.; BUTCHERS, A.; EGAN, A. 2001. Relationship between objective measurements and taste panel assessment of beef quality. Australian Journal of Experimental Agriculture. 41:981-989.
126. POLIDORI, P.; TRABALZ, A.; MARINUCCI, M.; FANTUZ, F.; RENIERI, C.; POLIDORI, F. 2000. Tenderization of wether lambs meat through pre-rigor infusion of calcium ions. Meat Science. 55:197-200.
127. PRINGLE, T.; HARRELSON, J.; WEST, R.; WILLIAMS, S.; JOHNSON, D. 1999. Calcium-activated tenderization of strip loin, top sirloin, and top round steaks in diverse genotypes of cattle. Journal of Animal Science. 77:3230–3237.
128. REDMOND, G.; MCGEEHIN, B.; SHERIDAN, J.; BUTLER, F. 2001. The effect of ultra-rapid chilling and subsequent ageing on the calpain/calpastatin system and myofibrillar degradation in lamb m. *Longissimus thoracis et lumborum*. Meat Science. 59:293–301.
129. RENNERT, N. 2007. Hipervitaminosis D. Medline Plus. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado 25 oct. 2008. Disponible en <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/001594.htm>.
130. RUIZ DE HUIDOBRO, F.; MIGUEL, E.; ONEGA, E.; BLÁZQUEZ, B. 2003. Changes in meat quality characteristics of bovine meat during the first 6 days post mortem. Meat Science. 65:1439–1446.
131. SALGADO, C. 2007. EL Mercado de carne ovina en Lananoticias. Lana Noticias. 145:18-21.
132. SAN JULIÁN, R.; MONTOSSI, F.; NUTE, G.; FONT, I.; FURNOLS, M.; GUERRERO, L.; SAÑUDO, C. 2006. Evaluación sensorial de la carne vacuna uruguaya. Revista INIA. 8:6-9.

133. SAÑUDO, C.; ALBERTÍ, P.; CAMPO, M.; OLLETA, J.; PANEA, B. 1998. Calidad instrumental de la carne de bovino de siete razas españolas. *Archivos Zootecnia*. 48:397-402.
134. SCANGA, J.; BELK, K.; TATUM, J.; SMITH, G. 2001. Supranutritional oral supplementation with vitamin D₃ and calcium and the effects on beef tenderness. *Journal of Animal Science*. 79:912–918.
135. SECCO, J. 2004. Fortalezas, debilidades y amenazas. El crecimiento agropecuario. *El País Agropecuario*. no. 111:17-19.
136. SELL, N.; MIKEL, W.; XIONG, Y.; BEHREND, J. 2004. Vitamin D₃ supplementation of cull cows: effects on *Longissimus* and *Semitendinosus* muscle tenderness. *Journal of Animal Science*. 82:225-230.
137. SHACKELFORD, S.; WHEELER, T.; MEADE, M.; REAGAN, J.; BYRNES, B.; KOOHMARAIE, M. 2001. Consumer impressions of tender select beef. *Journal of Animal Science*. 79:2605–2614.
138. SOCA, P. 2006. Cría Vacuna. ¿Seguiremos como la celeste, añorando el 4-3-3? *El País Agropecuario*. no. 135:30-33.
139. SORIA, L.; CORVA, P. 2004. Factores genéticos y ambientales que determinan la terneza de la carne bovina. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 12(2):73-88.
140. SORIMACHI, H.; SAIDO, T.; SUZUKI, K. New era of calpain research: discovery of tissue-specific calpains. *FEBS Letters*. 343:1-5.
141. STELZLENI, A.; PATTE, N.; JOHNSON, D.; CALKINS, C.; GWARTNEY, B. 2007. Benchmarking carcass characteristics from commercially identified beef and dairy cull cow carcasses for Warner-Bratzler shear force and sensory attributes. *Journal of Animal Science*. 85:2631-2638.
142. SULLIVAN, G.; CALKINS, C. 2007. Ranking beef muscles for Warner-Bratzler shear force and trained sensory panel ratings. (en línea). *Nebraska Beef Report* 2007:94-96. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en <http://beef.unl.edu/beefreports/2007.pdf>.

143. SWANEK, S.; MORGAN, J.; OWENS, F.; GILL, D.; STRASIA, C.; DOLEZAL, H.; RAY, F. 1999. Vitamin D₃ Supplementation of beef steers increases *Longissimus* tenderness. *Journal of Animal Science*. 77:874–881.
144. TATUM, J.; SMITH, G.; BELK, K. 1999. New approaches for improving tenderness, quality, and consistency of beef. (en línea). *Proceedings of the American Society of Animal Science*. 1999. 1-10. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en <http://www.asas.org/symposia/9899proc/0925.pdf>.
145. TEIRA, G. 2004. Actualidad y perspectivas de un componente principal de la calidad de carnes bovinas; la terneza. *Ciencia, Docencia y Tecnología*. 15(028):251-224.
146. THOMSON, B.; DOBBIE, P. 1997. The effect of calcium chloride treatment on shear force and weight loss in *Gluteus medius* and *Longissimus* muscles from pasture fed bulls. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 40:507-512.
147. TIPTON, N.; KING, D.; PASCHAL, J.; HALE, D.; SAVELL, J. 2007. Effects of oral vitamin D₃ supplementation and supplement withdrawal on the accumulation of magnesium, calcium, and vitamin D in the serum, liver, and muscle tissue and subsequent carcass and meat quality of *Bos indicus* influenced cattle. *Meat Science*. 75:150–158.
148. TRIFOGLIO, J. 2007. Situación del mercado lanero. *Lananoticias*. *Lana Noticias*. 145:25-31.
149. URUGUAY. INSTITUTO NACIONAL DE CARNES. DIRECCIÓN DE INFORMACIÓN Y ANÁLISIS ECONÓMICO. 2007a. Expedición de carne bovina al mercado interno ranking de establecimientos año 2007. (en línea). 2 p. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en http://www.inac.gub.uy/servlet/com.binnov.portal.servlet.GetHttpFile/Mercado_Interno_por_empresa_A%F1o_2007_DIAE.pdf?typefile=d&contentid=2039&version=1&filename=Mercado_Interno_por_empresa_A%F1o_2007_DIAE.pdf.

150. _____. _____. 2007b. Uruguay, ¿un mercado importante? Análisis del mercado interno. (en línea). Montevideo. 51 p. (Serie Técnica no. 44). Consultado el 20 octubre 2008. Disponible en http://www.inac.gub.uy/servlet/com.binnov.portal.servlet.GetHttpFile/Uruguay_Un_mercado_importante.pdf?typefile=d&contentid=2619&version=1&filename=Uruguay_Un_mercado_importante.pdf
151. _____. _____. 2007c. Frigoríficos habilitados a exportar a diferentes mercados. (en línea). Montevideo. 3 p. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en http://www.inac.gub.uy/servlet/com.binnov.portal.servlet.GetHttpFile/LISTA_DE_FRIGORIFICOS.pdf?typefile=d&contentid=421&version=1&filename=LISTA_DE_FRIGORIFICOS.pdf
152. _____. _____. 2008a. Anuario estadístico 2007. (en línea). 108 p. Consultado 4 nov. 2008. Disponible en http://www.inac.gub.uy/servlet/com.binnov.portal.servlet.GetHttpFile/Anuario_Estadistico_2007_4a.pdf?typefile=d&contentid=2700&version=1&filename=Anuario_Estadistico_2007_4a.pdf.
153. _____. _____. 2008b. Serie mensual de exportaciones carne bovina por destino. (en línea). Consultado 20 oct. 2008. Disponible en http://www.inac.gub.uy/servlet/com.binnov.portal.servlet.GetHttpFile/Serie_mensual_de_exportaciones_carne_bovina_por_destino.xls?typefile=d&contentid=2034&version=1&filename=Serie_mensual_de_exportaciones_carne_bovina_por_destino.xls.
154. _____. _____. 2008c. Maduración de la carne y terneza. (en línea). 2 p. Consultado 4 nov. 2008. Disponible en http://www.inac.gub.uy/servlet/com.binnov.portal.servlet.GetHttpFile/Apendice_4.pdf?typefile=d&contentid=2849&version=1&filename=Apendice_4.pdf.
155. _____. _____. 2008d. Preguntas frecuentes sobre la carne. (en línea). 3 p. Consultado 4 nov. 2008. Disponible en http://www.inac.gub.uy/servlet/com.binnov.portal.servlet.GetHttpFile/Apendice_6.pdf?typefile=d&contentid=2851&version=1&filename=Apendice_6.pdf.

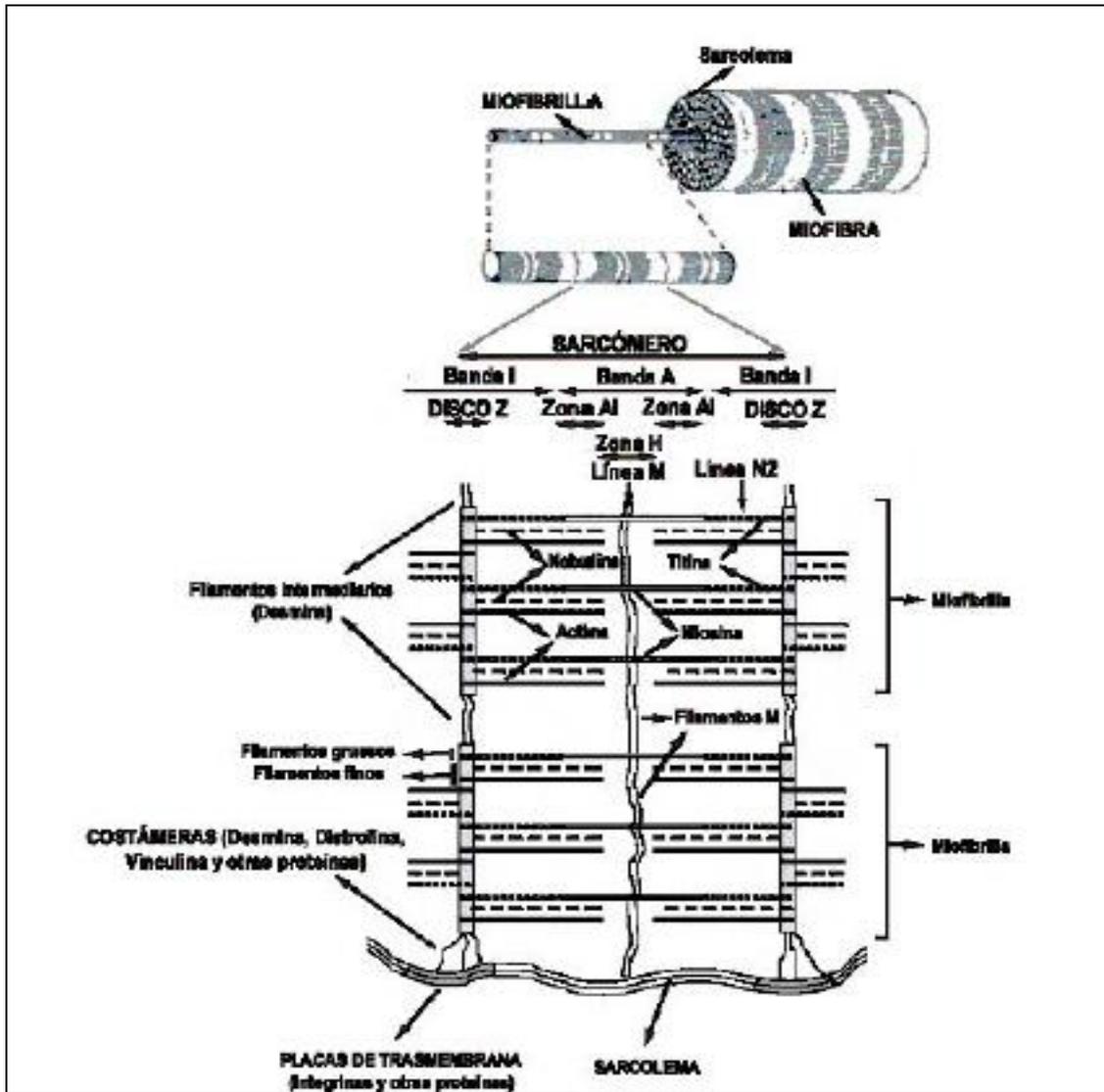
156. _____. _____. 2008e. Todo el país participación de carnes. (en línea). 1 p. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en [http://www.inac.gub.uy/servlet/com.binnov.portal.servlet.GetHttpFile/Todo el Pa%EDs Participaci%F3n de Carnes .a3.pdf?typefile=d&contentid=1881&version=1&filename=Todo el Pa%EDs Participaci%F3n de Carnes .a3.pdf](http://www.inac.gub.uy/servlet/com.binnov.portal.servlet.GetHttpFile/Todo%20el%20Pa%EDs%20Participaci%F3n%20de%20Carnes.a3.pdf?typefile=d&contentid=1881&version=1&filename=Todo%20el%20Pa%EDs%20Participaci%F3n%20de%20Carnes.a3.pdf).
157. _____. MINISTERIO DE GANADERIA AGRICULTURA Y PESCA. 2008. Información general. (en línea). Montevideo. 4 p. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/DGSG/SIRA/InformacionGeneral.pdf>.
158. _____. _____. DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS. 2001. Anuario estadístico agropecuario 2001. Montevideo. 180 p.
159. _____. _____. _____. 2002. Anuario estadístico agropecuario 2002. Montevideo. 217 p.
160. _____. _____. _____. 2003a. Anuario estadístico agropecuario 2003. (en línea). Montevideo. 201 p. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/Diea/Anuario2003/index.htm>.
161. _____. _____. _____. 2003b. La ganadería en Uruguay; contribución a su conocimiento. (en línea). Montevideo. 187 p. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/Diea/Rubros/Ganaderia/Ganader%C3%A1Da_Junio2003.pdf.
162. _____. _____. _____. 2004. Anuario estadístico agropecuario 2004. (en línea). Montevideo. 200 p. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/Diea/Anuario2004/index.htm>.
163. _____. _____. _____. 2005. Anuario estadístico agropecuario 2005. (en línea). Montevideo. 201 p. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/Diea/Anuario2005/index.htm>.

- 164._____. _____. _____. 2006. Anuario estadístico agropecuario. 2006. (en línea). Montevideo. 197 p. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/Diea/Anuario2006/index.htm>.
- 165._____. _____. _____. 2007. Anuario estadístico agropecuario 2007. (en línea). 190 p. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/Diea/Anuario2007/index.htm>.
- 166._____. _____. _____. 2008. Anuario estadístico agropecuario. 2008. (en línea). 206 p. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/Diea/Anuario2008/Anuario2008/pages/DIEA-Anuario-2008-cd_040.html.
167. VASSALLO, M. 1999. Interpretaciones y reflexiones sobre la ganadería uruguaya; una perspectiva a largo plazo. Notas Técnicas no. 47. 52 p.
- 168._____. 2002. La colonización en el Uruguay y sus aportes al desarrollo rural. El proceso tecnológico de la agroindustria uruguaya. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 72-89.
169. VEISETH, E.; SHACKELFORD, S.; WHEELER, T.; KOOHMARAIE, M. 2001. Effect of postmortem storage on μ -calpain and m-calpain in ovine skeletal muscle. Journal of Animal Science. 79:1502–1508.
170. VON SEGGERN, D.; CALKINS, C. 2001. Physical and chemical properties of 39 muscles from the beef chuck and round. (en línea). Nebraska Beef Report 2001:99-103. Consultado 20 oct. 2008. Disponible en <http://beef.unl.edu/beefreports/2001.pdf>.
171. WARRIS, P. 2003. Ciencia de la carne. 3ª.reimp. Zaragoza, España, Acribia. 309 p.
172. WERTZ, A.; KNIGHT, T.; TRENKLE, A.; SONON, R.; HORST, R.; HUFF-LONERGAN, E.; BEITZ, D. 2004. Feeding 25-hydroxyvitamin D₃ to improve beef tenderness. Journal of Animal Science. 82:1410-1418.

173. WHEELER, T.; CROUSE, J.; KOOHMARAIE, M. 1992. The effect of postmortem time of injection and freezing on the effectiveness of calcium chloride for improving beef tenderness. *Journal of Animal Science*. 70:3451-3457.
174. _____.; KOOHMARAIE, M. 1994. Prerigor and postrigor changes in tenderness of ovine *Longissimus* muscle. *Journal of Animal Science*. 72:1232-1238.
175. WIEGAND, W; PARRISH, JR. F.; MORRICAL, D; HUFF-LONERGAN, E. 2001. Feeding high levels of vitamin D₃ does not improve tenderness of callipyge lamb loin chops. *Journal of Animal Science*. 79:2086-2091.
176. ZEOLA, N.; SOBRINHO, A.; SOUZA, P.; SOUZA, H.; PELICANO, E.; LEONEL, F.; LIMA, T. 2005. Avaliação da injeção de cloreto de cálcio nos parâmetros qualitativos da carne de ovelha. *Revista Brasileira Agrociência*. 11(3):361-364.
177. _____.; SOUZA, P.; SOUZA, H.; SILVA SOBRINHO, A. BARBOSA, J. 2007a. Cor, Capacidade de retenção de água e maciez da carne de cordeiro maturada e injectada com cloreto de cálcio. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 54(4):825-1088.
178. _____.; _____.; _____.; _____. 2007b. Parâmetros qualitativos da carne ovina: um enfoque à maturação e marinação. (en línea). *Revista Portuguesa Ciências Veterinárias*. 102(563-564):215-224. Consultado 4 nov. 2008. Disponible en http://www.fmv.utl.pt/spcv/PDF/pdf12_2007/214-224.pdf.

9. ANEXOS

ANEXO I. Esquemas de la organización de la miofibrilla y el sarcómero, donde se indican las principales proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas.



Fuente: Soria y Corva (2004).

ANEXO II. Número de animales según raza materna:

<i>Biotipo de corderos</i>	<i>Número de corderos</i>
Southdown x Corriedale	29
Southdown x (Ild de France x Corriedale)	7
Southdown x (Milchschaf x Corriedale)	10
Southdown x (Donhe x Corriedale)	5
Southdown x (Texel x Corriedale)	3
Southdown x Poll Dorset	6
Total	60

ANEXO III. Alimentación de los corderos pre-sacrificio

Tratamiento	1	2	3	4	5	6
Campo Natural Mejorado (<i>Lotus Pedunculatus</i> y <i>Sub biflorus</i>)	*	*	*			
Pradera 2do año (<i>Trifolium pratense</i> y <i>Cychorium intibus</i>)				*	*	*
Monensina		*	*		*	*
Levadura			*			*