

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LA CARNE DE LLAMA
(*Lama glama*) MARINADA CON CLORURO SÓDICO Y FOSFATOS
SOMETIDAS A CONGELACIÓN Y DESCONGELACIÓN”**

Presentado por:

GIULIANA ADELINA CARPIO CUADRA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Lima-Perú

2015

*A mis padres, José y Gabriela,
por su paciencia y apoyo
incondicional.*

*A mis hermanos, Paola y
Renato, por estar siempre ahí.*

*A mis tíos, primos y amigos;
los que me motivaron día a día
a culminar con la última etapa
de mi carrera universitaria.*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mi asesora, Dra. Bettit Salvá Ruiz, por su apoyo y motivación incondicional; y por los consejos e información brindada. Sin su apoyo, esto no habría sido posible.

Al Dr. Gustavo Gutiérrez Reynoso, por brindarme la oportunidad de trabajar con carne de llama.

A mi hermana, Paola, por escucharme en los momentos de mayor estrés, tomarse el trabajo de leer mis borradores y darme sus apreciaciones.

Resaltar la ayuda brindada por las técnicas de los laboratorios de Análisis Físico Químico, Investigación e Instrumentación e Ingeniería de Alimentos; asimismo a los encargados de la carnicería del Centro de Ventas de la UNALM.

Finalmente, a todos los profesores de la facultad de Industrias Alimentarias por haber contribuido a mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.	LA LLAMA	4
2.1.1.	ORÍGENES	4
2.1.2.	HABITAT	4
2.1.3.	CARACTERÍSTICAS.....	4
2.1.4.	RAZAS.....	6
2.1.5.	CRianza	7
2.1.6.	POBLACIÓN DE CAMÉLIDOS SUDAMERICANOS EN EL PERÚ.....	8
2.1.7.	PRODUCCIÓN DE FIBRA	9
2.1.8.	PRODUCCIÓN DE CARNE	10
2.2.	LA CANAL DE LLAMA	12
2.2.1.	DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL	12
2.2.2.	CLASIFICACIÓN DE LA CANAL EN EL PERÚ.....	14
2.2.3.	CORTES REALIZADOS A LA CANAL	16
2.3.	LA CARNE DE LLAMA.....	17
2.3.1.	COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL.....	17
2.3.2.	PROPIEDADES TECNOLÓGICAS	19
2.3.3.	CALIDAD SANITARIA	32
2.4.	CONGELACIÓN	33
2.4.1.	DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA CONGELACIÓN	33
2.4.2.	CURVAS DE CONGELACIÓN	35
2.4.3.	MÉTODOS DE CONGELACIÓN DE CARNE.....	37
2.5.	DESCONGELACIÓN.....	38
2.5.1.	CONCEPTO Y CARACTERÍSTICAS DE LA DESCONGELACIÓN ...	38
2.5.2.	CURVAS DE DESCONGELACIÓN	39
2.5.3.	TIPOS DE DESCONGELACIÓN	40
2.5.4.	MÉTODOS DE DESCONGELACIÓN.....	41
2.6.	EFFECTO DE LA CONGELACIÓN Y DESCONGELACIÓN EN LAS PROPIEDADES DE LA CARNE.....	41
2.6.1.	COLOR	41

2.6.2.	PÈRDIDAS DE AGUA.....	42
2.6.3.	PROTEÍNAS.....	44
2.6.4.	TEXTURA.....	45
2.6.5.	FLAVOR.....	46
2.6.6.	pH.....	47
2.7.	MARINADO.....	47
2.7.1.	CONCEPTO Y CARACTERÍSTICAS.....	47
2.7.2.	TIPOS DE MARINADO.....	49
2.7.3.	COMPOSICIÓN Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES DE LA CARNE.....	50
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	53
3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN.....	53
3.2.	MATERIA PRIMA.....	53
3.3.	MATERIALES Y EQUIPOS.....	53
3.3.1.	MATERIALES.....	53
3.3.2.	EQUIPOS E INSTRUMENTOS.....	55
3.3.3.	REACTIVOS.....	56
3.4.	MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	56
3.4.1.	EVALUACIÓN DE LA CONGELACIÓN Y DESCONGELACIÓN.....	56
3.4.2.	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS.....	59
3.5.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	62
3.6.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	66
3.6.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA CARNE DE LLAMA.....	66
3.6.2.	INYECCIÓN Y MARINADO DE LA CARNE DE LLAMA.....	66
3.6.3.	EVALUACIÓN DEL PROCESO DE CONGELACIÓN/ DESCONGELACIÓN.....	66
3.6.4.	ALMACENAMIENTO EN CONGELACIÓN.....	67
3.6.5.	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DE LA CARNE DE LLAMA DESCONGELADA.....	67
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	69
4.1.	ANÁLISIS PROXIMAL DE LA CARNE DE LLAMA.....	69
4.2.	EVALUACIÓN DE LA CONGELACIÓN Y DESCONGELACIÓN.....	70
4.2.1.	EVALUACIÓN DE LA CONGELACIÓN.....	70
4.2.2.	EVALUACIÓN DE LA DESCONGELACIÓN.....	76

4.3	CALIDAD FISICOQUÍMICA DE LA CARNE DE LLAMA MARINADA CONGELADA/ALMACENADA/DESCONGELADA	78
4.3.1	pH	78
4.3.2	HUMEDAD.....	81
4.3.3	CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA (CRA).....	82
4.3.4	PÉRDIDA POR DESCONGELACIÓN	84
4.3.5	PÉRDIDA POR COCCIÓN.....	85
4.3.6	SUSTANCIAS REACTIVAS AL ÁCIDO 2-TIOBARBITÚRICO (TBARS)	87
4.3.7	METAMIOGLOBINA	89
4.3.8	DUREZA.....	91
V.	CONCLUSIONES	95
VI.	RECOMENDACIONES	97
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
VIII.	ANEXOS	112

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Población de alpacas, llamas y vicuñas en Perú (miles de unidades).....	9
Cuadro 2: Producción anual de fibra de llama en Perú (2006-2012)	9
Cuadro 3: Producción nacional de carne de alpaca y llama (miles de TM)	11
Cuadro 4: Pesos de cuerpo con vida (kg) en diferentes edades (media±DE).....	14
Cuadro 5: Proporciones de músculo, hueso y grasa de corte de lomo (media± DE) de llamas criadas bajo solo pastoreo (GR, n=10), pastoreo más de heno (GR+SH, n=10) y pastoreo más un concentrado de salvado de sorgo y trigo (GR+SC, n=10).	14
Cuadro 6: Proporción de músculo, grasa diseccionable (intramuscular más subcutánea) y hueso del brazuelo y pierna en la carcasa de llama de acuerdo a sexo y edad (media ±DE)	14
Cuadro 7: Determinación de la edad en alpacas y llamas en base a la dentición	15
Cuadro 8: Proporción de los cortes comerciales de la carcasa de llama de acuerdo al sexo y edad (media ±DE).	17
Cuadro 9: Características químicas de músculo <i>Longissimus thoracis et lumborum</i> (media±DE).....	18
Cuadro 10: Comparación de la composición química del músculo de <i>Longissimus thoracis</i> de llama, cerdo y res	18
Cuadro 11: Valor medio (±DE) del contenido de minerales (mg/100g) de <i>Longissimusthoracis</i> en carcasas de llama (n=20).....	19
Cuadro 12: Capacidad de retención de agua (CRA) del músculo <i>Longissimus thoracis et lumborum</i> (media±desviación estándar).....	23
Cuadro 13: Estados de oxidación de la mioglobina	24
Cuadro 14: Medición instrumental del color del músculo <i>Longissimus lumborum</i> de llama raza Kh'ara.....	26
Cuadro 15: Análisis dimensional de los parámetros de la prueba Warner-Bratzler.....	28
Cuadro 16: Clasificación de la terneza de los músculos	29
Cuadro 17:Comparación de la terneza de la carne de bovino, caballo y llama (media±DE)	30
Cuadro 18: Requisitos microbiológicos para carne de llama fresca y congelada	33
Cuadro 19: Tiempo de almacenamiento (meses) al que se manifiesta la oxidación lipídica en carne magra.....	47

Cuadro 20: Diseño experimental de la investigación	68
Cuadro 21: Composición química proximal del músculo <i>Semimembranosus</i> de llama.....	69
Cuadro 22: Comparación de la composición proximal (valores medios) de las carnes de llama, alpaca, caballo y bovino.....	70
Cuadro 23: Puntos de congelación de los filetes de músculo <i>Semimembranosus</i> de llama (media \pm DE).....	72
Cuadro 24: Punto inicial de congelación según el contenido de humedad de las carnes de llama,bovino, porcino y cordero	73
Cuadro 25: Tiempo para congelar de 4°C a -20°C los filetes de músculo <i>Semimembranosus</i> de carne de llama (media \pm DE)	74
Cuadro 26: Puntos de descongelación de los filetes de músculo <i>Semimembranosus</i> de carne de llama (media \pm DE).....	77
Cuadro 27:Tiempo para descongelar de -20°C a 0°C los filetes de músculo <i>Semimembranosus</i> de carne de llama (media \pm DE)	78
Cuadro 28: pH del músculo <i>Semimembranosus</i> de llama congelado/almacenado/descongelado	79
Cuadro 29: Humedad (%) del músculo <i>Semimembranosus</i> de llama congelado/almacenado/descongelado.....	81
Cuadro 30: Capacidad de retención de agua (volumen absorbido (ml)/100 g de carne) de músculo <i>Semimembranosus</i> de llama congelado/almacenado/descongelado....	82
Cuadro 31: Pérdida por descongelación (%) del músculo <i>Semimembranosus</i> de llama congelado/almacenado/descongelado	84
Cuadro 32:Pérdida por cocción (%) del músculo <i>Semimembranosus</i> de llama congelado/almacenado/descongelado	86
Cuadro 33: TBARS (mg MDA/kg de carne) en el músculo <i>Semimembranosus</i> de llama congelado/almacenado/descongelado	88
Cuadro 34: Contenido (%) de metamioglobina en el músculo <i>Semimembranosus</i> de llama congelado/almacenado/descongelado.....	90
Cuadro35: Dureza (N) en el músculo <i>Semimembranosus</i> de llama congelado/almacenado/descongelado	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de Guanacos, Llamas, Alpacas y Vicuñas en América del Sur.	4
Figura 2: Detalles de las patas	5
Figura 3: Llama raza Ccara	6
Figura 4: Llama raza Ch'aku	7
Figura 5: Distribución de los cortes primarios en alpacas y llamas	16
Figura 6: Efecto de carga neta	22
Figura 7: Esquema que representa el color de la carne en función de los estados de oxidación de la mioglobina.....	25
Figura 8: Gráfico representando los valores del test Warner-Bratzler	29
Figura 9: Reacciones del mecanismo de auto-oxidación de lípidos	31
Figura 10: Curva típica de congelación sin subenfriamiento	36
Figura 11: Curva típica de congelación con subenfriamiento	37
Figura 12: Cambios de temperatura durante congelación y descongelación para similares tamaños de envases	40
Figura 13: Efecto de la adición del cloruro de sodio sobre la capacidad de retención de agua de la carne	51
Figura 14: Centro del filete de carne	57
Figura 15: Descripción gráfica del ensayo	58
Figura 16: Flujo de operaciones para la obtención de carne de llama marinada/congelada/almacenada/descongelada.....	65
Figura 17: Curvas de congelación de los filetes de músculo <i>Semimembranosus</i> de llama a diferentes porcentajes de inyección de salmuera.....	71
Figura 18: Curvas de descongelación de los filetes de músculo <i>Semimembranosus</i> de llama a diferentes porcentajes de inyección de salmuera	76
Figura 19: Comparación de la dureza de la carne de llama, alpaca y bovino.	93

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Evaluación de sustancias reactivas al ácido 2-tiobarbitùrico (TBARS).....	112
Anexo 2: Determinación instrumental de dureza	114
Anexo 3: Evaluación de la congelación y la descongelación	115
Anexo 4: Resultados de los análisis fisicoquímicos	118
Anexo 5: Resultado de las pruebas estadísticas.....	122

RESUMEN

En el presente estudio se evaluó el efecto de la congelación y descongelación en las propiedades tecnológicas de la carne de llama marinada con cloruro sódico y fosfatos. Se tomaron muestras de músculo *Semimembranosus* de llamas macho de la raza Ccara, entre 18 a 24 meses de edad, provenientes del distrito de Marcapomacocha (Junín). Las muestras de *Semimembranosus* fueron adquiridas cinco días después del sacrificio (control), marinadas con cloruro de sodio (cloruro sódico) y tripolifosfato de sodio (0 por ciento, 12±1 por ciento y 20±4 por ciento de inyección de salmuera), trozadas, envasadas individualmente (200-250g), congeladas en un congelador doméstico a -21°C, almacenadas a -21°C ±5°C y descongeladas a 3°C ±2°C. Se evaluó el proceso de congelación y descongelación mediante la elaboración de las curvas de congelación y descongelación. Las muestras se analizaron luego de un mes de almacenamiento en congelación y después de una descongelación en refrigeración, llevándose a cabo las siguientes mediciones: pH, humedad, capacidad de retención de agua (CRA), pérdida por descongelación, pérdida por cocción, oxidación de lípidos (TBARS), contenido de metamioglobina y dureza (WBSF). Los resultados se analizaron mediante un Diseño Completamente al Azar (DCA), aplicando un análisis de varianza (ANOVA) para los tratamientos establecidos, al existir diferencias significativas ($P < 0.05$) se procedió a realizar un test de comparación múltiple con un testigo mediante la prueba Dunnett. Los resultados de la evaluación demostraron el efecto significativo ($P < 0.05$) de la congelación y descongelación sobre las propiedades: pH, pérdida por descongelación, humedad, contenido de metamioglobina y dureza de la carne. Sin embargo, no se observó efecto significativo ($P < 0.05$) en la oxidación de lípidos. Asimismo, la adición de una salmuera con cloruro de sodio y fosfatos, hizo que las pérdidas por cocción sean menores, la humedad aumente y se mantenga la capacidad de retención de agua luego de la descongelación.

Palabras clave: llama, carne, congelación, descongelación, marinado, hidratación.

ABSTRACT

The present study sought to evaluate the effect of freezing and thawing on the technological properties of meat injected with a solution of sodium chloride and phosphate. For this aim, we collected *Semimembranosus* muscles from male llamas of Ccara race between 18 to 24 months of age, from the district Marcapomacocha (Junin). *Semimembranosus* samples were acquired five days after slaughter (control), marinated with sodium chloride and sodium tripolyphosphate (0 percent, 12±1 percent and 20±4 percent brine injection), cut, individually packaged, frozen in a domestic air freezer at -21°C, stored frozen at - 21°C ±5°C and thawed at 3°C ±2°C. The process of freezing and thawing was evaluated by drawing curves of freezing and thawing. Analyses were performed after one month on frozen storage and thawing in the refrigerator, performing the following measurements: pH, moisture, water holding capacity (WHC), thaw loss, cook loss, lipid oxidation (TBARS), metmyoglobin content and hardness (WBSF). The results were analyzed by Completely Randomized Design (CRD) using analysis of variance (ANOVA) for established treatments and Dunnett test (P<0.05) when significant differences were found. In the latter, we proceeded to make a multiple comparison test with a control by Dunnett test. The test results indicated a significant effect of the freezing and thawing on the properties: pH, thaw loss, moisture, metmyoglobin content and hardness. However, no significant effect was showed in lipid oxidation. Also, the addition of brine containing sodium chloride and phosphates decreases cooking losses, increases meat moisture and help to maintain its water holding capacity after thawing.

Keywords: llama, meat, freezing, thawing, marination, hydration.

I. INTRODUCCIÓN

La llama (*Lama glama*) es un camélido sudamericano cuya importancia se remonta al periodo Inca. Este animal era considerado una fuente de riqueza ya que proveían carne para el consumo, fibra para confeccionar vestimenta, abono y era utilizado como medio de transporte.

Desde el 2005, se están realizando estudios que demuestran que la carne de llama tiene un alto valor nutritivo (alto contenido proteico y vitamina D y bajo nivel de grasa y colesterol) a comparación de otras carnes de origen animal. Esto ha hecho que su consumo aumente, especialmente en Sudamérica. La carne se consume fresca y además se utiliza como materia prima para la elaboración de productos cárnicos.

En el Perú, la carne de llama se comercializa y consume mayormente fresca, pero tiene un periodo corto de vida útil. Para asegurar una mejor conservación, la carne podría someterse a congelación. La congelación ofrece las ventajas de incrementar el tiempo de almacenamiento, dar una mayor flexibilidad en el inventario y mejorar el control del producto (Pietrasik y Janz, 2009). Sin embargo, la congelación y el almacenamiento congelado puede afectar la estructura y las propiedades químicas de la carne, durante la congelación, el líquido intracelular es expulsado por osmosis al espacio extracelular, formándose cristales de hielo que luego causan la pérdida de agua durante la descongelación (Polymenidis, 1978).

La adición de aditivos que mantengan y conserven la calidad del producto, mejoren o retarden algunas de sus características, podría mitigar los efectos de la congelación y la descongelación. En la industria avícola, la inyección de la carne con una salmuera de cloruro de sodio y fosfatos, antes de la congelación, para mejorar la ternura, jugosidad y el flavor (Leygonie *et al.*, 2012). Asimismo, la inyección de una salmuera que contenga cloruro de sodio y fosfatos a la carne de vacuno causa un efecto positivo en sus

propiedades, disminuyendo significativamente la pérdida de agua luego de la descongelación (Pietrasik y Janz, 2009).

En base a lo anterior, resulta interesante realizar la presente investigación sobre el efecto de la congelación y descongelación en las propiedades de la carne de llama. Así, se evaluó la efectividad de una salmuera que contenía cloruro de sodio y fosfatos, a dos niveles de inyección (0 por ciento, 12 ± 1 por ciento y 20 ± 4 por ciento), para mantener las características de la carne luego de que esta fuese marinada, sometida a congelación, almacenada en congelación por un mes y posterior descongelación; se compararon los resultados con los de la carne de llama sin congelar y sin marinar (tratamiento control).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. LA LLAMA

2.1.1. ORÍGENES

El centro de evolución de origen de los camélidos fue Norteamérica hace 50 millones de años. Sus antepasados dieron lugar al *Poebrotherium*, que era del tamaño de una oveja y abundaba alrededor de 30 millones de años a.C., en el territorio que hoy ocupan los Estados Unidos de Norteamérica. En el mioceno, conforme se produjo el calentamiento del planeta, ocasionando climas áridos y la expansión de las praderas, los camélidos aumentaron de tamaño, se adaptaron a un alimento de baja calidad y desarrollaron un hábito de pastoreo itinerante adecuado para la migración. Hace cinco millones de años, los rebaños de camélidos avanzaron hacia América del Sur y evolucionaron hasta originar a los camélidos sudamericanos actuales: guanaco, vicuña, llama y alpaca (Dávila, s.f.).

La llama (*Lama glama*) es descendiente del guanaco (*Lama guanicoe*) y su domesticación se inició hace más de 6 000 años. Pertenecen a la orden *Artiodactyla*, suborden *Ruminantia*, infra orden *Tylopoda* y a la familia de los camélidos (Torres, 1992).

2.1.2. HABITAT

El hábitat de los camélidos sudamericanos está constituido principalmente por las formaciones ecológicas de Puna y Altos Andes que se distribuyen desde el norte del Perú hasta el sur de Argentina como se aprecia en Figura 1.

Los camélidos pueden habitar desde el nivel del mar hasta las regiones alto andinas a más de 5 000 metros de altitud, cubriendo una extensión de más de 2 000 kilómetros en la Cordillera de los Andes (Rodríguez, 2004).

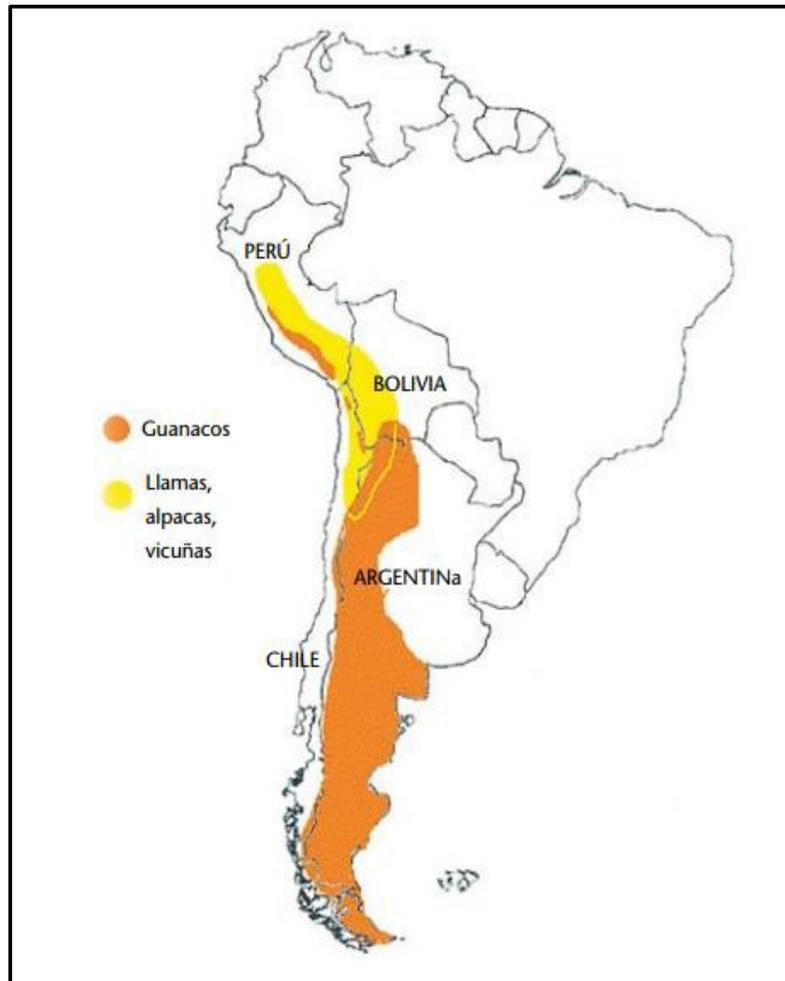


Figura 1: Distribución de Guanacos, Llamas, Alpacas y Vicuñas en América del Sur.

FUENTE: Sepúlveda (2011)

2.1.3. CARACTERÍSTICAS

La llama es el camélido sudamericano más grande y puede pesar hasta 125 kg (Torres, 1992), tiene una altura media de 1-1.2 metros a la cruz (medido desde el suelo hacia la parte más alta del omoplato). El color y el largo de su pelaje es variable dependiendo de la raza (Vilá, 2007).

Este camélido tiene el tercer y cuarto dedo de sus extremidades, robustos y de igual desarrollo. Los dedos están provistos de uñas muy desarrolladas y en forma de pezuña, provisto de almohadillas (ver Figura 2) y callosidades plantares que no causan daño mecánico a los suelos (Rodríguez, 2004.).

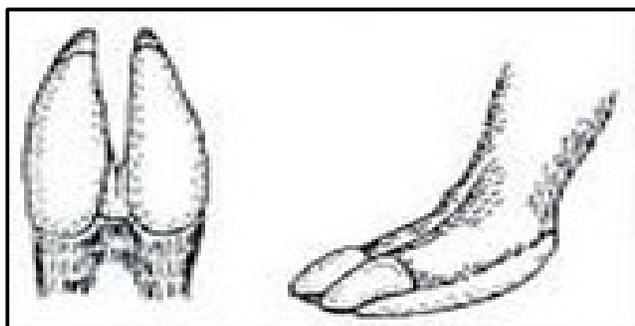


Figura 2: Detalles de las patas

FUENTE: Vilá (2007)

La llama tiene un estómago rumiante más sencillo que el de los bovinos, con tres compartimientos. Tiene verdaderos caninos separados de los molares por diastemas y no tiene cuernos. Además, sus patas traseras les permiten descansar sobre el vientre, con las rodillas dobladas y garrones hacia atrás. Su cuello es largo con vértebras cervicales muy desarrolladas y su labio superior es hendido. Presenta glóbulos rojos elípticos y con buena afinidad por el oxígeno (Rodríguez, 2004).

Es un animal gregario con familias formadas por un macho y varias hembras, socialmente polígamo, es uníparo, su periodo de gestación es de 10 a 14 meses, los machos pueden reproducirse a partir de los tres años y las hembras a los dos años ya están en condiciones para recibir la primera monta. La vida reproductiva promedio llega hasta los 14 años aunque pueden vivir 20 años.

La llama se caracteriza por ser rústica, versátil, tímida, mansa, dócil y por reconocer fácilmente a su dueño. Es un animal longevo y diurno. Tiene la facilidad de escupir como modo de defensa. Asimismo, puede pastorear y ramonear todo tipo de vegetación. Se utiliza preferentemente como animal de carga (puede cargar entre 25 y 30 kg y caminar 20 km por día) y tiene excelentes perspectivas como animal carnicero por su alto rendimiento

y peso (Rodríguez, 2004); la carne que se obtiene es una importante fuente alimenticia, la cual se puede consumir fresca, salada o secado al sol (charqui) (Torres, 1992).

La fibra que produce es de menor calidad y se obtiene en menor cantidad en comparación a la alpaca. Presenta dos capas de fibra: una interior, fina y otra exterior, gruesa (FAO, 2005); el diámetro de la fibra es de 20-80 micrones (Vilá, 2007). La fibra se usa para confecciones de ropa y bolsos, su piel para artículos de cuero y sus huesos para hacer instrumentos para los telares (Torres, 1992).

2.1.4. RAZAS

Existen dos razas de llama: Ccara (ver Figura 3) y Ch'aku (ver Figura 4) conocidas también con las denominaciones Pelada y Lanuda respectivamente. Se diferencian una de la otra por la magnitud de la cobertura del cuerpo.



Figura 3: Llama raza Ccara

FUENTE: Sepúlveda (2011)

La raza Ch'aku presenta mayor cobertura de fibra, incluyendo las extremidades; mientras la raza Ccara tiene apariencia de mayor fortaleza corporal, con poca cobertura de cuerpo y extremidades. Además, existen tipos intermedios que pueden confundirse con el Huarizo (producto del cruce de la llama con alpaca). Con respecto a la población, hay un grado de

equilibrio entre las dos razas con un ligero predominio de Ccara, representando el 58 por ciento de la población de llamas a nivel nacional (FAO, 2005).

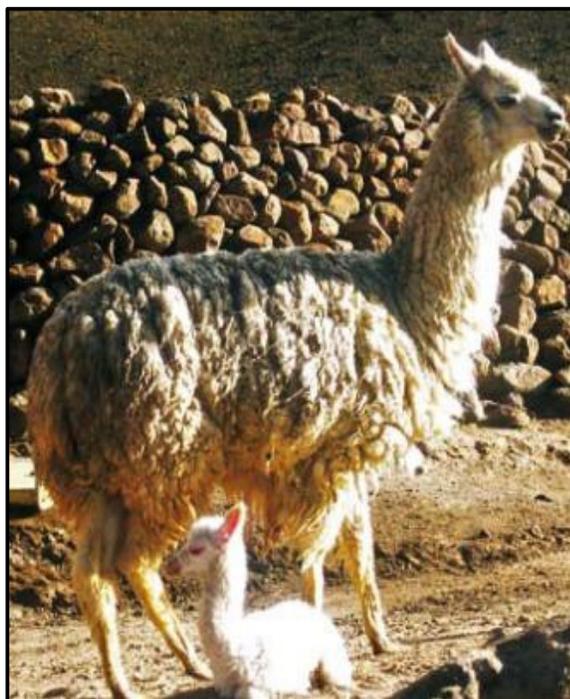


Figura 4: Llama raza Ch´aku

FUENTE: Sepúlveda (2011)

2.1.5. CRIANZA

Las llamas se manejan bajo sistemas de producción pequeños y por productores de escasos recursos económicos, con cargas animales que sobrepasan su capacidad productiva (Quispe *et al.*, 2009). Este tipo de crianza está alejada de los centros urbanos y a veces de las comodidades de acceso a carretera (Bravo y Huanca, 2012).

El pastoreo sigue una rotación estacional, en muchos de estos sistemas, los bofedales tienen una gran importancia ya que producen forraje durante el periodo seco. Existen arreglos comunitarios que en muchos casos determinan aspectos importantes en el manejo del rebaño. Por ejemplo, en algunos sistemas los machos se incluyen en rebaños separados de las hembras y luego son reunidos en época de monta. Los rebaños mixtos incluyen hembras de producción y de reemplazo, crías y animales de un año y sin separación de sexo. Cuando los machos alcanzan entre 12 y 18 meses de edad pueden ser destinados a la

producción de carne o son seleccionados como futuros productores. En otros casos los rebaños incluyen machos productores con las hembras todo el año (Quispe *et al.*, 2009).

El empadre (apareamiento) es continuo y no controlado. Los criterios de selección son la altura, la conformación corporal y el color. Las hembras y machos de reemplazo provienen mayoritariamente del propio rebaño, seguido de compras e intercambio (Gutiérrez *et al.*, 2012).

Los sistemas de producción de llama integran un rebaño de ovinos criollos. Este arreglo confiere flexibilidad y menor vulnerabilidad al sistema, con mayor oferta de proteína animal para la familia; sin embargo, la inclusión de un componente ovino para reducir riesgos productivos ha exacerbado el sobrepastoreo. El tamaño del rebaño promedio varía entre 40-60 llamas en zonas con mayor concentración de personas en las comunidades y hasta 120-180 llamas en zonas con menor concentración. El tamaño del rebaño ovino es similar en todas las zonas, fluctuando entre 40-70 animales (Quispe *et al.*, 2009).

La infraestructura productiva es precaria, cuentan con corredores rudimentarios de piedra u otro material local, vecinos a la vivienda de los productores o en lugares específicos donde los animales pernoctan protegidos de predadores y del frío (Quispe *et al.*, 2009).

En la Sierra Central de Perú, el objetivo principal de la crianza es la producción de carne. El sistema de crianza es extensivo (tradicional) basado en pastizales de propiedad comunal. El rebaño promedio es mixto, compuesto por llamas, alpacas, ovinos y vacunos. En el caso de las llamas, el tipo predominante es la tipo pelada, seguido por intermedio y finalmente el tipo lanuda (Gutiérrez *et al.*, 2012).

2.1.6. POBLACIÓN DE CAMÉLIDOS SUDAMERICANOS EN EL PERÚ

En el Cuadro 1 se puede apreciar la población de camélidos sudamericanos en el Perú (2009-2012), destacando una mayor población de alpacas, en segundo lugar se encuentran las llamas y finalmente las vicuñas que no presenta registros a partir del año 2008. La mayor concentración de llamas se encuentra en los departamentos de Puno, Cusco,

Huancavelica y Junín, la cual está asociada a las necesidades de uso de estos animales para el transporte de insumos agrícolas y de las cosechas, y su uso como fuente proteica (FAO, 2005).

Cuadro 1: Población de alpacas, llamas y vicuñas en Perú (miles de unidades)

Año	Alpacas	Llamas	Vicuñas
2000	3 068	1 184	119
2001	3 182	1 179	128
2002	3 336	1 206	138
2003	3 423	1 231	150
2004	3 432	1 237	161
2005	3 598	1 270	174
2006	3 626	1 256	188
2007	3 687	1 274	203
2008	3 781	1 263	...
2009	4 106	1 238	...
2010	4 177	1 245	...
2011	4 322	1 227	...
2012	3 924	1 193	...

FUENTE: INEI (2012)

2.1.7. PRODUCCIÓN DE FIBRA

Las estadísticas sobre el volumen de producción anual de fibra de llama son referenciales ya que la esquila no es una práctica que se rija por un calendario. En el Cuadro 2 se puede observar la producción de fibra entre el 2006 y 2012, esta fluctúa entre 0.6 y 0.7, y en el último año incrementó a 0.8 miles de TM.

Cuadro 2: Producción anual de fibra de llama en Perú (2006-2012)

Año de producción	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Fibra de llama (miles de TM)	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8

FUENTE: INEI (2012)

Se estima que solo el 40 por ciento de la fibra es destinada a los artesanos y la industria; y el 60 por ciento restante se orienta al autoconsumo, para la fabricación de una serie de productos de uso doméstico como sogas, costales o bolsas, hondas, ponchos, chompas, tapices, etc. (FAO, 2005).

La llama tiene diferentes tipos de fibras; según FAO (2005), la raza lanuda presenta un vellón más voluminoso (25.6 a 27.6 micras de diámetro) con pocas cerdas; en cambio, la raza pelada tiene fibra (28.2 a 30.7 micras de diámetro) corta con alto contenido de cerda.

Los vellones y fibra de llama son de diferentes colores (25 por ciento blanco, 48 por ciento de colores enteros y 27 por ciento de colores mezclados), siendo el blanco el color de fibra preferido por la industria textil. Un problema mayor de la producción fibra de llama deriva de su elevada proporción de cerda (PRORECA, 2003 citado por Quispe *et al.*, 2009).

En general, la esquila suele ser manual con tijeras especializadas aunque todavía existen lugares donde se usan elementos primitivos para esquilar (Quispe *et al.*, 2009). El aislamiento en que viven los productores de estos camélidos, por falta de infraestructura vial adecuada y de mecanismos de participación grupal, hace que tengan grandes dificultades de acceso al mercado.

La comercialización de la fibra es la principal fuente de ingreso para los productores de camélidos sudamericanos. No obstante, la fibra ofertada tiene impurezas y mezcla de colores y estos se ven obligados a realizar trabajos de purificación y clasificación (PRORECA, 2003 citado por Quispe *et al.*, 2009), lo que los hace depender de intermediarios y tener menor nivel de ganancias por este producto (FAO, 2005).

2.1.8. PRODUCCIÓN DE CARNE

La producción de carne es importante en la crianza de camélidos porque: (1) es un alimento de alto valor nutritivo que contribuye a la nutrición de los pueblos alto andinos y (2) es posible obtener beneficios económicos compensables al aporte de la fibra, con un debido reordenamiento de la estructura de los rebaños y mejora del manejo y la sanidad (FAO, 2005).

La producción total de carne depende de la saca anual (número de animales destinados al sacrificio). Se estima que el porcentaje de saca anual es de 10 a 12 por ciento; este bajo porcentaje se debe a las bajas tasas de natalidad, la alta mortalidad de las crías y el bajo porcentaje de hembras en los rebaños. La saca está constituida mayormente por animales viejos, hembras y machos que han llegado al final de su vida productiva, lo que hace que la presencia de *Sarcosistis* en la musculatura sea elevada y la carne será de inferior calidad (FAO, 2005).

En el Cuadro 3 se observa la producción anual de carne de camélido en el Perú, siendo la producción de carne de llama menos de la mitad que la de alpaca.

Cuadro 3: Producción nacional de carne de alpaca y llama (miles de TM)

Año	Alpaca	Llama
2006	19.8	8.6
2007	20.8	9.0
2008	21.1	8.8
2009	23.1	9.2
2010	23.2	9.1
2011	25.1	9.7
2012	25.9	10.0

FUENTE: INEI (2012)

Existen pocos mataderos destinados exclusivamente al sacrificio de camélidos, se utilizan los mismos donde también se sacrifican otras especies. Las condiciones higiénicas de los mataderos formales son en general aceptables y cuentan con servicios de inspección sanitaria. Por otro lado, el beneficio clandestino (fuera de los mataderos) se lleva a cabo en condiciones higiénicas poco adecuadas y carentes de control sanitario e inspección veterinaria (FAO,2005).

La carne se consume fresca o procesada, ya sea deshidratada (charqui o chalona) o en embutido; sin embargo, el consumo sigue siendo limitado y solo se da en las zonas de producción (FAO, 2005). Esto se debe a la mala presentación del producto, como consecuencia de un sacrificio sin control sanitario, falta de sangría adecuada,

infraestructura, transporte y envases inadecuados. Además, no existen puntos de venta apropiados; la carne no se vende en los mercados sino mayormente en las ferias y a la interperie. Además el volumen es insuficiente ya que cada productor oferta sus productos de forma individual (CONCYTEC, 2001).

2.2. LA CANAL DE LLAMA

2.2.1. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL

La canal es el cuerpo del animal desprovisto de vísceras torácicas, abdominales y pelvianas (Caravaca *et al.*, 2003). Su calidad ha sido definida por Colomer-Rocher (1973) citado por Vergara (1996) como: “el conjunto de características cuya importancia relativa confiere a la canal una máxima aceptación y un mayor precio frente a los consumidores o a la demanda del mercado”.

Los criterios que la definen son: el rendimiento de la canal, el peso de la canal-edad del animal, la composición tisular, el estado de engrasamiento y la conformación de la canal (Caravaca *et al.*, 2003).

El rendimiento de la canal es la relación entre el peso de la canal y el peso vivo del animal. La FAO (2005) menciona que el rendimiento de la canal de llama es relativamente alto en comparación con otras especies, siendo un promedio de 57 por ciento en llamas adultas criadas en el Perú. Sin embargo, Cristofanelli *et al.* (2004) afirman que el rendimiento de llamas criadas en Perú es de 50-53 por ciento.

En estudios realizados en Chile, Pérez *et al.* (2000) indican que existen diferencias en el rendimiento de la canal entre machos y hembras (56.0 por ciento y 54.2 por ciento respectivamente) pero no hay variación entre llamas jóvenes y adultos del mismo sexo.

La alimentación también cumple un rol fundamental, Mamani-Linares y Gallo (2013a) demuestran que el rendimiento de la canal aumenta con una alimentación suplementada, siendo 55.3 por ciento al utilizar solo pastos nativos, 59.7 por ciento con pastos nativos mezclados con heno y 59 por ciento con pastos nativos mezclados con un concentrado de salvado de sorgo y trigo.

El peso está en función a la edad del animal. Los rumiantes lactantes tienen un mayor rendimiento de la canal que los que tienen algunas semanas de edad. Una vez alcanzado el desarrollo de los tres preestómagos, el rendimiento de la canal aumenta con la edad conforme van depositando músculo y grasa (Caravaca *et al.*, 2003). En el Cuadro 4 se observa que a medida que las llamas y alpacas tienen más edad, aumentan de peso; siendo el peso de las llamas significativamente mayor que el de las alpacas presentando un mayor potencial como fuente de carne. La FAO (2005) menciona que el peso medio de un adulto puede llegar a ser de 116 kg.

Cuadro 4: Pesos de cuerpo con vida (kg) en diferentes edades (media± DE)

Edad (meses)	Alpacas (n=40)	Llamas (n=20)
Nacimiento	5.99±0.94	7.15±1.37
6	20.19±0.94	28.13±1.37
10	27.99±0.94	36.78±1.37
13	37.19±1.02	46.93±1.47
16	40.35±1.12	55.77±1.67
19	41.05±1.29	56.29±1.80
22	42.87±1.58	59.43±2.09
25	46.07±2.23	63.18±2.92

FUENTE : Cristofanelli *et al.* (2004).

La composición tisular supone el porcentaje de músculo, grasa y hueso de la canal. Mamani-Linares y Gallo (2013a) mencionan que está relacionada a la alimentación, variando según la cantidad de energía del alimento, como se observa en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Proporciones de músculo, hueso y grasa de corte de lomo (media± DE) de llamas criadas solo con pastos (GR), con pastos más heno (GR +SH) y pastos más un concentrado de salvado de sorgo y trigo (GR+SC).

	GR	GR+SH	GR+SC
Músculo (%)	79.4±3.3	80.4±3.0	81.9±3.1
Hueso (%)	20.3±2.1	19.3±1.2	17.6±1.5
Grasa (%)	0.3±0.1	0.3±0.0	0.6±0.1

FUENTE : Mamani-Linares y Gallo (2013)

Por su parte, Pérez *et al.* (2000) afirman que no existen diferencias significativas de la composición tisular con respecto al sexo y edad de las llamas aunque las hembras presentan una mayor proporción de grasa a medida que envejecen y en los machos ocurre lo contrario como se puede ver en el Cuadro 6.

Cuadro 6: Proporción de músculo, grasa intramuscular y subcutánea y hueso del brazuelo y pierna en la carcasa de llama de acuerdo a sexo y edad (media \pm DE)

Corte	Machos		Hembras	
	joven (n=5)	adulto (n=5)	joven (n=5)	adulto (n=5)
Brazuelo				
Músculo	61.8 \pm 4.6	63.4 \pm 3.4	64.8 \pm 2.1	61.8 \pm 3.2
Hueso	19.9 \pm 3.1	19.2 \pm 2.9	23.0 \pm 2.4	19.6 \pm 0.9
Grasa	12.5 \pm 7.9	11.2 \pm 6.2	5.7 \pm 3.7	13.7 \pm 4.1
Pierna				
Músculo	69.7 \pm 4.4	70.4 \pm 3.9	70.8 \pm 1.4	70.5 \pm 1.9
Hueso	18.2 \pm 0.8	19.8 \pm 3.2	20.4 \pm 2.4	18.4 \pm 1.1
Grasa	6.6 \pm 4.9	5.5 \pm 2.7	3.3 \pm 0.8	6.5 \pm 2.4
Pérdidas*	5.5 \pm 1.5	4.3 \pm 1.3	5.5 \pm 1.3	4.6 \pm 1.0

*De peso durante el corte y tejidos considerados residuos como nervios, tendones, etc.

FUENTE : Pérez *et al.* (2000)

El estado de engrasamiento y la conformación de la canal (musculatura) se miden de forma subjetiva, utilizando una escala de cinco (extremadamente abundante y muy convexo respectivamente) a uno (escaso y muy cóncavo respectivamente), método utilizado por Mamani-Linares y Calvo (2013a) en su estudio.

2.2.2. CLASIFICACIÓN DE LA CANAL EN EL PERÚ

En la Norma Técnica Peruana 201.043 (INDECOPI, 2005a) se indican los factores para la clasificación de las carcasas de alpacas y llamas:

- **Edad:** Se determina en base a la dentición y está relacionada con la terneza de la carcasa (ver Cuadro 7).

- **Sexo:** Machos enteros y/o capones y hembras de saca
- **Sanidad:** Sólo se clasificarán las carcasas que luego de la inspección veterinaria hayan sido admitidas para consumo humano en forma directa o indirecta y estén debidamente identificadas.

Cuadro 7: Determinación de la edad en alpacas y llamas en base a la dentición

Dentición	Edad aproximada
Dientes de Leche (DL)	Hasta los 2 años
Dos dientes (2D)	2.5 a 3.5 años
Cuatro dientes (4D)	3.5 a 4.5 años
Boca llena (BLL)	Mayor de 4.5 años

FUENTE: INDECOPI (2005)

Asimismo, se señalan las bases técnicas para la clasificación:

- **Conformación:** relación armoniosa entre el tejido muscular y óseo de la carcasa.
- **Acabado:** grado de gordura del animal determinada por la cantidad, distribución, infiltración, almacenamiento y cobertura de tejido adiposo en una carcasa.

Es así que de acuerdo a los factores y bases técnicas antes mencionadas, las carcasas de alpacas y llamas se clasificarán de la siguiente manera:

- **Extra:** Carcasas o canales de macho enteros o capones hasta dos (02) dientes permanentes de edad, de buena conformación (buen desarrollo y distribución muscular), buena configuración ósea, buena distribución de tejido adiposo de color blanco cremoso.
- **Primera:** Carcasas o canales de machos castrados (capones) y de hembras no aptas para la reproducción con hasta cuatro (04) dientes permanentes de edad con adecuada proporción ósea y desarrollo convexo de músculos en especial de mayor valor comercial, buena distribución de grasa de manto de color blanco cremoso.
- **Segunda:** Carcasas o canales de machos y hembras de regular desarrollo óseo y muscular; con incipiente grasa de cobertura.
- **Procesamiento o industrial:** Carcasas o canales de alpacas y llamas, que no alcanzan las calificaciones anteriores, considerándolas no aptas para el consumo humano directo, por lo que para su comercialización, deberán ser transformadas en

carnes secas-saladas, ahumadas, cocinadas a temperaturas mayores a 60°C, embutidos, y/o afines, previo análisis microbiológico.

2.2.3. CORTES REALIZADOS A LA CANAL

En general, no existe un sistema estandarizado de cortes, se sigue un sistema similar al de los ovinos (FAO, 2005). Vilca (1991) citado por FAO (2005) propuso un sistema que consiste en dividir la canal en sus partes principales: el bistec (pierna y brazuelo) que representan el 47 por ciento; el churrasco (lomo y churrasco de costilla) que representan el 15 por ciento y el sancochado (pescuezo, pecho, osobuco, costillar y falda) que representan el 38 por ciento restante.

Sin embargo, en la Norma Técnica Peruana 201.043 (INDECOPI, 2005a), se señala que en el caso de los camélidos sudamericanos los cortes se dividen en:

- **Primarios:** cuello o pescuezo, pecho entero, pierna, osobuco con codo, costillar y churrasco largo; cuya descripción se puede observar en la Figura 5.
- **Finos o especiales:** churrasco redondo, pescuezo angosto, pierna deshuesada, bistec de paleta, asado redondo y ruso, quiso, falda y garrón).

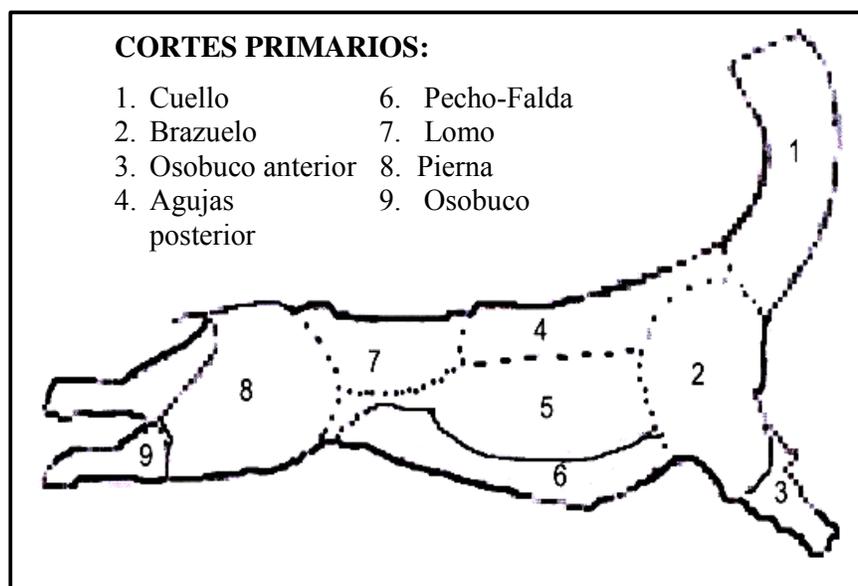


Figura 5: Distribución de los cortes primarios en alpacas y llamas

FUENTE: INDECOPI (2005)

Pérez *et al.* (2000) afirman que la proporción de los cortes comerciales no se ve afectada por la edad o el sexo de las llamas, excepto la proporción de la pierna y la cola en hembras, ya que es mayor en las jóvenes (ver Cuadro 8). Además, los mismos autores mencionan que la pierna y el brazuelo representan entre el 53 por ciento y 60 por ciento del total de la carcasa.

Cuadro 8: Proporción de los cortes comerciales de la carcasa de llama de acuerdo al sexo y edad (media \pm DE).

Corte	Machos		Hembras	
	joven (n=5)	adulto (n=5)	joven (n=5)	adulto (n=5)
Pierna (%)	33.4 \pm 2.4	33.1 \pm 2.2	39.3 \pm 4.0	32.9 \pm 1.7
Brazuelo(%)	21.8 \pm 2.8	20.9 \pm 1.0	20.6 \pm 1.7	19.9 \pm 1.1
Tórax(%)	19.5 \pm 2.9	17.1 \pm 1.5	18.3 \pm 2.3	20.2 \pm 2.7
Costillas(%)	17.2 \pm 1.0	18.9 \pm 1.7	17.5 \pm 2.7	18.6 \pm 1.2
Cuello (%)	8.0 \pm 1.8	8.7 \pm 2.3	7.6 \pm 3.7	8.8 \pm 3.0
Cola (%)	0.2 \pm 0.1	0.3 \pm 0.1	0.1 \pm 0.5	0.3 \pm 0.1

FUENTE: Pérez *et al.* (2000)

2.3. LA CARNE DE LLAMA

2.3.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL

La carne de llama es una carne magra con alto contenido de proteína y bajo contenido de grasa (Bravo, 2008). Mamani-Linares y Gallo (2014) afirman que el contenido proteico no se ve afectado por la alimentación de las llamas, en su estudio utilizaron suplementos de cebada y heno de alfalfa; un suplemento de sorgo y un concentrado de salvado de trigo. En cambio, la alimentación sí tiene un efecto significativo en el contenido de grasa intramuscular, ya que las llamas alimentadas con un suplemento de sorgo y un concentrado de salvado de trigo presentan un alto porcentaje de grasa intramuscular, el cual puede atribuirse a la alta concentración de energía de esta dieta.

Cristofanelli *et al.* (2004) mencionan que la composición química del músculo *Longissimus thoracis et lumborum* (LTL) de los camélidos sudamericanos (llamas y

alpaca) es similar, con excepción del contenido de cenizas, como se observa en el siguiente Cuadro 9.

Cuadro 9: Características químicas de músculo *Longissimus thoracis et lumborum* (media± DE)

	Alpaca (n=40)	Llama (n=20)
Humedad (%)	73.65±1.66	73.69±1.87
Grasa (%)	0.49±0.01	0.51±0.01
Proteína (%)	23.33±0.69	23.12±0.88
Cenizas (%)	2.54±0.20	2.43±0.25
Colesterol (mg/100g)	51.14±2.01	56.29±2.89

FUENTE: Cristofanelli *et al.* (2004)

Asimismo, su contenido de proteína es mayor y el de grasa es menor en comparación a otras carnes (Bravo, 2008), en el Cuadro 10 se observa la comparación de la composición química del músculo *Longissimus thoracis* (LT) de llama, cerdo y vacuno.

Cuadro 10: Comparación de la composición química del músculo de *Longissimus thoracis* de carne de llama, cerdo y res.

	Llama	Cerdo	Vacuno
Humedad (%)	71.0	70.7	72.2
Grasa (%)	3.51	7.1	7.8
Proteína (%)	22.4	20.7	18.6
Colesterol (mg/100g)	58.1	74	69

FUENTE: Balasini (2000) citado por Polidori *et al.* (2007a)

La carne de llama presenta niveles de colesterol menores que otras carnes, como la de cordero y vacuno. Por ejemplo la nalga de llama contiene 29.3 mg por 100 g de carne, la nalga bovina está en valores de 90 mg, 70 mg las de ovino y porcino y 74 mg el muslo de ave (Bravo, 2008).

asta cierto punto, la alimentación también puede influir en el contenido de colesterol de la carne (Mamani-Linares y Gallo, 2013b). De acuerdo a Grompone (2009) citado por

Mamani-Linares y Gallo (2013b) el contenido de ácidos grasos saturados como mirístico y palmítico en la dieta, afecta el nivel de colesterol total y de lipoproteínas de baja densidad en la sangre. Asimismo, Xiccato y Trocino (2003) citado por Mamani-Linares y Gallo (2013b) mostraron que una dieta que contiene los ácidos grasos insaturados esenciales apropiados (linoleico, linoléico y araquidónico), reduce el nivel de colesterol en la carne. La composición de ácidos grasos en la carne de llama es: 50.34 por ciento de ácidos grasos saturados, 42.48 por ciento de ácidos grasos monoinsaturados y 7.18 por ciento de ácidos grasos poliinsaturados; se considera una alternativa saludable en comparación a la carne de vacuno (Polidori *et al.*, 2007b).

Por otro parte, la carne de llama presenta un contenido similar de potasio, fósforo y sodio (microelementos esenciales en la dieta humana) a los reportados para carne de camello y vacuno (Polidori *et al.*, 2007c). En el Cuadro 11 se puede observar que la carne de llama presenta un mejor perfil de minerales que la carne de alpaca, un producto más consumido en nuestro país.

Cuadro 11: Valor medio \pm DE d el contenido de minerales (mg/100g) de *Longissimus thoracis* en carcasas de llama (n=20) y alpaca (n=30)

Mineral	Llama	Alpaca
Magnesio	28.4 \pm 7.11	23.1 \pm 5.43
Potasio	447.1 \pm 69.5	411.7 \pm 80.1
Fósforo	379.4 \pm 67.7	338.0 \pm 58.9
Sodio	105.6 \pm 33.1	91.8 \pm 22.7
Hierro	3.26 \pm 0.71	3.03 \pm 0.89

FUENTE : Polidori *et al.* (2007c)

2.3.2. PROPIEDADES TECNOLÓGICAS

a. pH

El pH es un parámetro importante ya que está relacionado con el nivel de deterioro de la carne y se usa para decidir sobre el destino de esta (Wirth, 1987 citado por Mamani-Linares y Gallo, 2011). Tanto el valor final del pH, que es medido aproximadamente a las

24 horas después del sacrificio, como la velocidad de caída del mismo durante la transformación de músculo en carne (que depende del tipo de fibra predominante), afectan las características organolépticas y tecnológicas de la carne. Los factores que afectan al pH de la carne son diversos y se dividen en tres grupos: *antemortem* (raza, sexo, edad, peso, individuo, sistema de producción y dieta), *premortem* (estrés, transporte, aturdimiento pre-sacrificio y el sacrificio) y *postmortem*, (frío y tiempo de oreo) (Zimerman, 2010).

El estrés es uno de los factores que ocasionan efectos adversos muy graves en la calidad de la carne (Zimerman, 2010). Cuando los animales sufren un estrés severo inmediatamente antes de su sacrificio (al descargar a los animales, al manejarlos, al encerrarlos en los corrales o al inmovilizarlos y aturdirlos), el músculo sufre una serie de procesos bioquímicos como la rápida descomposición del glucógeno. Se produce una carne pálida, blanda y exudativa (PSE), tiene una acidez muy pronunciada (pH entre 5.4 -5.6) y poco sabor; esta condición se presenta en la mayoría de veces en cerdos, por lo que este tipo de carne es difícil de aprovechar y en casos extremos se desecha.

Por otra parte, cuando el glucógeno muscular se consume durante el transporte y el manejo en el período anterior al sacrificio, hay poca generación de ácido láctico luego del sacrificio y se produce una carne oscura, firme y seca (DFD). Esta carne presenta un pH anormalmente alto (6.4-6.8), su calidad es inferior ya que el sabor menos acentuado y su color oscuro son poco apetecidos por el consumidor; esta condición se presenta normalmente en canales de ganado vacuno u ovino y ocasionalmente en cerdos y pavos (Chambersi y Grandin, 2001).

Cebra *et al.* (2001) citado por Mamani-Linares *et al.* (2013) mencionan que los camélidos parecen ser poco susceptibles a la pérdida de calidad de la carne debida al estrés y no suele presentar valores de pH elevados. En su investigación, se compara la calidad tecnológica de doce músculos de llama, observando que el pH fue similar entre ellos y está dentro de los valores normales (<5.8). Por su parte, Cristofanelli *et al.* (2004) en un estudio realizado a 20 llamas y 40 alpacas machos criadas en el Perú, mencionan que el pH del músculo *Longissimus thoracis et lumborum (LTL)*, medido a las 24 horas posteriores al sacrificio, se sitúa entre 5.57 y 5.60 y ya no varía al medirlo a las 72 horas, lo que indica que el proceso glucolítico termina a las 24 horas del sacrificio.

En la Norma Técnica Peruana 201.043 (INDECOPI, 2005a) se señala que el pH de la carcasa y los cortes de llama y alpaca debe encontrarse entre 5,5 y 6,4.

b. Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua se define como la capacidad o habilidad que presenta la carne para contener su propia agua a pesar de la aplicación de fuerzas externas como el corte, calentamiento, trituración y prensado (García, 2000).

La CRA es un factor importante ya que las pérdidas o ganancias de agua afectan el peso y el valor económico de la carne. Esta pérdida de humedad se presenta en tres formas: por evaporación (se pierde el agua libre en el músculo durante el enfriamiento, dos por ciento), por goteo (durante la exposición de los cortes a venta, durante el transporte y almacenamiento) y durante el cocinado (25-35 por ciento). No solo se pierde agua, también se eliminan algunas proteínas solubles, vitaminas y minerales (Forrest *et al.*, 1975 citado por García, 2000).

Existen algunos factores que afectan la cantidad de pérdida de agua por goteo, los cuales se describen a continuación (Offer y Knight, 1980 citado por García, 2000):

- **Grado de corte del músculo:** dado que el goteo se da en las superficies de corte del músculo, la pérdida dependerá directamente del grado en el cual este se encuentra cortado; cuando los músculos se encuentran intactos, pierden agua por evaporación.
- **Medida del corte cárnico:** las piezas pequeñas tienden a perder agua por goteo relativamente en mayor cantidad que las piezas o cortes grandes. La pérdida también depende de la geometría del corte cárnico y la orientación de las fibras.
- **Método de soporte:** se presenta mayor pérdida en piezas suspendidas de la parte más superior que las que son suspendidas de partes más inferiores.
- **Rango de glicólisis post-mortem:** el aumento de la actividad glicolítica, la pérdida de ATP y la subsiguiente formación de la actomiosina reducen la CRA, aún cuando

el pH no descienda, dando como resultado una severa contracción y una disociación de agua de las proteínas musculares (Lawrie, 1974 citado por García, 2000).

- **Temperatura de almacenamiento:** La temperatura de la canal previa al rigor, resulta con un efecto muy importante en la pérdida por goteo, porque tiene influencia en el grado de desnaturalización proteica y el grado de acortamiento (Lawrie, 1974 citado por García, 2000).
- **La formación de ácido láctico y la caída del pH en el periodo *postmortem*:** se produce la reducción del número total de grupos reactivos disponibles para ligar agua a la proteína, se produce desnaturalización y pérdida de solubilidad de las proteínas. Esta reducción se debe a que el pH se aproxima al punto isoeléctrico, los grupos positivos y negativos tienden a atraerse entre sí y solo los que se mantienen libres son los que presentan la capacidad de atraer agua. En la Figura 6 se puede observar este fenómeno, denominado “efecto de carga neta”.

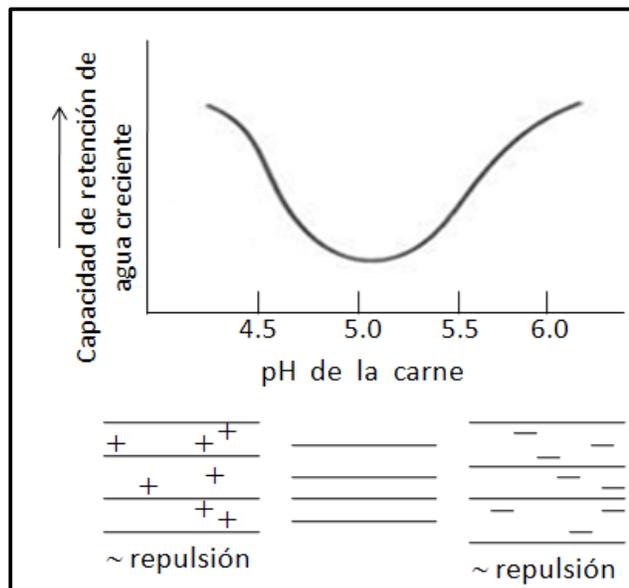


Figura 6: Efecto de carga neta

FUENTE: Price y Schweigert (1994)

- **Congelado y descongelado:** parte del agua de las células musculares pasa a los espacios intercelulares durante el proceso de congelación, formando cristales, los cuales son un reservorio potencial de líquido que aparece en forma de goteo al momento del descongelado; esto puede evitarse con velocidades de congelación más rápida (Lawrie, 1974 citado por García, 2000).

- **Especie:** Se ha observado que la CRA de la carne de cerdo es mayor que la de la carne de vacuno. De igual manera se ha encontrado que la edad afecta la CRA en bovinos, siendo mayor en jóvenes que en adultos (Lawrie, 1974 citado por García, 2000).

Los valores de CRA de las carnes de llama y alpaca no son muy altos en comparación a otras especies, así lo manifiestan Offer y Knight (1988) citado por Cristofanelli *et al.*(2004), esto las hace idóneas para su uso en la elaboración de productos cárnicos deshidratados como el charqui. En el Cuadro 12 se observa valores de CRA obtenidos en la superficie muscular del *Longissimus thoracis et lumborum (LTL)* por el método de inhibición de jugo sobre papel de filtro. Cristofanelli *et al.* (2004) afirman que probablemente la CRA de los músculos de llama y alpaca podría ser modificada de manera importante si se aplican técnicas de alimentación apropiadas para optimizar la producción de carne. Además, García (2000) menciona que existen otros procedimientos para aumentar la CRA: adición de cloruro de sodio (NaCl), fosfatos, carragenatos, proteínas y féculas; pero estos se utilizan mayormente en la elaboración de productos cárnicos.

Cuadro 12: Capacidad de retención de agua (CRA) del músculo *Longissimus thoracis et lumborum* (media±DE)

Tiempo post mortem	Alpaca (n=40)	Llama (n=20)
1	49.09±2.08	50.53±2.14
6	49.18±2.01	48.61±2.11
12	49.30±2.51	49.78±3.08
24	51.17±3.01	50.68±2.74
48	52.80±2.77	49.60±2.61
72	53.76±4.11	49.78±2.23

FUENTE : Cristofanelli *et al.* (2004)

c. **Color**

El color de las carnes rojas es el principal atributo por el que el consumidor se guía para comprar o no el producto. La carne se puede considerar como un tejido traslúcido

anisótropo que muestra mayor reflectancia cuando la luz incidente es perpendicular a las fibras musculares que cuando es coaxial (Mateo, 2007).

La mioglobina (Mb), proteína sarcoplasmática formada por una única cadena polipeptídica y un grupo prostético (grupo hemo) donde se une el oxígeno y le confiere el color rojo característico (Teijón y Garrido, 2006), y sus derivados son los principales responsables de la absorción selectiva carne-pigmento (López *et al.*, 2001 citado por Mateo, 2007). Asimismo Mateo (2007) afirma que existen factores que pueden alterar el color de la carne, los cuales se describen a continuación.

- **Cantidad de mioglobina:** depende de la edad (existe menor afinidad por el oxígeno en animales más viejos), especie, tipo de fibra muscular (es mayor en las fibras rojas que las blancas) y la alimentación (si la dieta tiene más hierro y proteína, aumenta los componentes hemínicos).
- **Evolución del pH durante el sacrificio:** al llegar a bajos pH en tiempos cortos *post-mortem*, se produce una mayor cohesión en la estructura miofibrilar y una desnaturalización proteica, lo que se traduce en mayor difusión, menor penetración del oxígeno y se ven colores más pálidos en la carne.
- **Estado químico de la mioglobina:** se produce una conversión continua entre las tres formas básicas del pigmento, el color de la carne varía según la proporción y distribución de los pigmentos, los estados de oxidación se presentan en el Cuadro 13.

Cuadro 13: Estados de oxidación de la mioglobina

Tipo de unión	Compuesto	Color	Nombre
Fe ⁺⁺ Ferroso (covalente)	:H ₂ O	Morado	Mioglobina reducida
	: O ₂	Rojo	Oximioglobina
	:NO	Rosa	Óxido nítrico mioglobina
	:CO	Rojo	Carboxymioglobina
Fe ⁺⁺⁺ Férrico (iónico)	-CN	Rojo	Cianometamioglobina
	-OH	Café	Metamioglobina
	-SH	Verde	Sulfomioglobina
	-H ₂ O ₂	Verde	Coleglobina

FUENTE : Mateo (2007)

La desestabilización del color en la carne se puede dar por los siguientes mecanismos:

- **Oxigenación:** al exponer la carne al aire, luego de 30-60 minutos se produce un enrojecimiento formándose oximioglobina. La entrada de oxígeno al músculo está determinada por la velocidad de difusión y la velocidad de consumo de oxígeno por el músculo (Mateo, 2007).
- **Crecimiento microbiano:** resultado de una reducción de la tensión de oxígeno en la superficie de la carne por el metabolismo bacteriano aerobio, aportándose cifras de 10^6 UFC/g para bajar la tensión de oxígeno a 30 mmHg. Cuando el crecimiento microbiano llega a 10^9 UFC/g, se crean ambiente reductores que generan una reversión del color (se forma metamioglobina). Además las bacterias proteolíticas son responsables del color verde (Mateo, 2007).
- **Actividad enzimática de consumo de oxígeno del músculo:** una elevada acción enzimática aumenta la extensión de la capa oxidada, acercándola más a la superficie. Las enzimas son más activas a mayor pH y temperatura (Mateo, 2007).
- **Oxidación química:** transformación de oximioglobina a metamioglobina (ver Figura 7) está favorecida por un pH bajo, la temperatura (0-30°C), tiempo de conservación, la incidencia de la luz, la presencia de cloruro de sodio, la oxidación lipídica y el tipo de fibra muscular, las fibras rojas son capaces de oxidar la grasa produciendo enranciamiento y decoloración (Mateo, 2007).

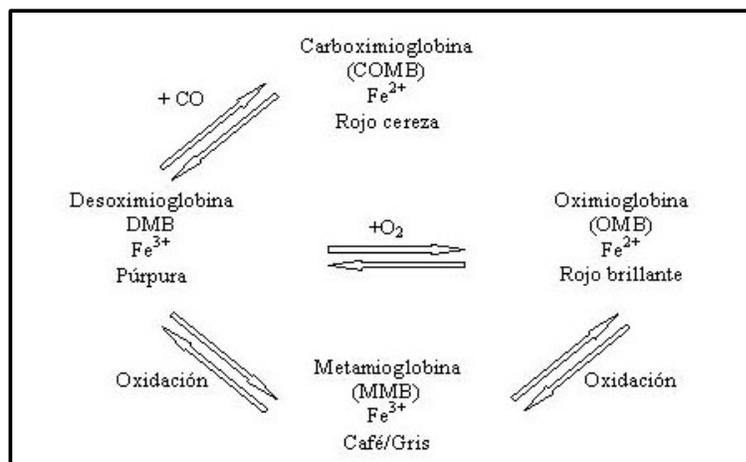


Figura 7: Esquema que representa el color de la carne en función de los estados de oxidación de la mioglobina

FUENTE: Aspé *et al.* (2008)

Para medir objetivamente el color de la carne, se utiliza un método instrumental basado en el sistema CIELAB. Este sistema emplea las coordenadas: L* (luminosidad), a* (índice rojo) y b* (índice de amarillo), de manera que a partir de relaciones entre ellas se pueden obtener las coordenadas colorimétricas, la intensidad de color o saturación (cantidad de mioglobina presente) y el tono (estado químico del pigmento).

La coordenada L* depende del pH, la capacidad de retención de agua, la humedad, la integridad de la estructura muscular y el grado de oxidación de los hemopigmentos; es la más relacionada con la valoración visual del consumidor (Palombo y Wijngaards, 1990 citado por Onega, 2003). También influye el contenido en grasa, pues las materias primas con mayor contenido en grasa son las que presentan mayores valores de L*. La coordenada a* (eje rojo-verde) está relacionada con el contenido de mioglobina. La coordenada b* (eje amarillo-azul) ha sido relacionada con los distintos estados de la mioglobina y al contenido de grasa (Pérez-Álvarez *et al.*, 1998 citado por Onega, 2003).

Sobre el color de la carne de llama, Mamami-Linares y Gallo (2013b) mencionan que no existe información disponible en la literatura; no obstante los resultados que obtuvo, los comparó con los reportados en otros tipos de carnes rojas. Estos investigadores evaluaron músculo *Longissimus lumborum* (LL) y reportaron (ver Cuadro 14) que los valores de L* y a* se encuentran entre los valores reportados para carne de alpaca (36.17±2.12 y 15.05±1.44 respectivamente) por Salvá *et al.*, (2009) y de carne de camello (31.69-37.74 y 13.37-16.18 respectivamente) por Kadim *et al.* (2006) citado por Mamami-Linares y Gallo (2013b). El consumo de forraje, el contenido de carotenoides del forraje, la raza, el peso al momento del sacrificio y la edad también influyen en el valor de b* (Ripoll *et al.*, 2008 citado por Mamami-Linares y Gallo, 2013b).

Cuadro 14: Medición instrumental del color del músculo *Longissimus lumborum* de llama raza Kh'ara

Coordenadas CIELAB	Media± Desviación estándar
L*	34.92±2.77
a*	11.73±2.77
b*	9.75±1.65

FUENTE : Mamami-Linares y Gallo (2013b)

d. Terneza

La terneza de la carne se define como la dificultad o la facilidad con la que ésta se puede cortar o masticar (Vásquez et al., 2006). Barton et al. (1988) citado por Vásquez et al. (2006) afirman que la terneza se relaciona principalmente con los siguientes factores:

- **Degradación de la fibra muscular:** el almacenamiento de la carne después del sacrificio (la maduración) resulta en una degradación gradual de algunas estructuras musculares, especialmente elementos contráctiles por acción de enzimas proteolíticas (Coma y Diquer, 1999).
- **Estado contráctil del músculo:** cuando el músculo se enfría rápidamente y la temperatura es inferior a 10°C antes del desarrollo del rigor mortis, se produce una contracción espontánea (“cold shortening”) que provoca una dureza extrema en la carne. Del mismo modo, si el músculo llega el rigor mortis a alta temperatura se produce un “hot shortening”. La temperatura óptima de entrada del músculo al rigor mortis es de 15°C (Coma y Diquer, 1999).
- **Cantidad de tejido conectivo:** la estructura del tejido conectivo (cantidad distribución y estabilidad térmica) crea diferencias en textura entre las diferentes piezas de un animal (Coma y Diquer, 1999). La dureza de la carne aumenta con la edad y está relacionada con las propiedades del colágeno (Scöfnelt y Haude, 1994 citado por Hernández, 2006).
- **Cantidad de grasa intramuscular o marmóreo:** la grasa intramuscular ejerce una función lubricante entre los dientes y la boca durante el proceso de masticación mediante la disminución de la fuerza de fricción (Hernández, 2006). Bejerholm y Barton-Grade (1986) citado por Coma y Diquer (1999) determinaron que es necesario un mínimo de dos por ciento de grasa intramuscular para obtener una calidad sensorial óptima en la carne fresca. Sin embargo, este nivel puede variar en función de la preferencia del mercado y del destino del producto; valores entre tres y cuatro por ciento puede ser más adecuado para la carne destinada a curados.

Para evaluar la terneza de la carne, mayormente, se utiliza el método Warner-Bratzler (WB). Esta es una prueba empírica en la que intervienen fuerzas de tensión, corte y compresión (Bourne, 1982 citado por Hernández, 2006). El ensayo puede proporcionar información sobre las propiedades de textura de la carne, las que dependen de sus

componentes estructurales (miofibrilares y del tejido conectivo) y de la orientación de las fibras (Honikel, 1998; Møller, 1980 y Poste *et al.*, 1993 citados por Hernández, 2006).

Además la fuente de variación de la terneza puede atribuirse a la edad del animal, sexo, peso, raza y estrés *ante-mortem* (Muchenje *et al.*, 2009 citado por Mamani-Linares *et al.*, 2013). Valores altos están relacionados con alta actividad de calpastatina, baja grasa intramuscular, baja fragmentación miofibrilar, altos niveles de colágeno soluble o la combinación de estos factores (Nakamura *et al.*, 2010 citado Mamani-Linares *et al.*, 2013).

En el Cuadro 15 y en la Figura 8 se observan los parámetros mecánicos y las dimensiones en que generalmente se expresan los resultados del test de WB.

Cuadro 15: Análisis dimensional de los parámetros de la prueba Warner-Bratzler

Parámetro Mecánico	Descripción	Variable	Unidades
Fuerza máxima (Shear force)	Fuerza máxima alcanzada para el corte completo de la muestra (también relacionada con la resistencia debida a los componentes del tejido conectivo).	Presión	Kgf/cm ²
Fuerza de ruptura (Initial yield force)	Primer punto de ruptura de la gráfica de medición de textura con los componentes miofibrilares.	Presión	Kgf/cm ²
Pendiente Firmeza de corte (Shear firmness)	Es la inclinación de la parte recta de la curva que se obtiene en la prueba de Warner-Bratzler, trazada desde el origen hasta el punto de fuerza máxima.	Velocidad	Kgf/seg
Área (Total work)	Trabajo total necesario para el corte completo de la muestra.	Trabajo	Kgf/seg

FUENTE: Bourne (1982) citado por Hernández (2006)

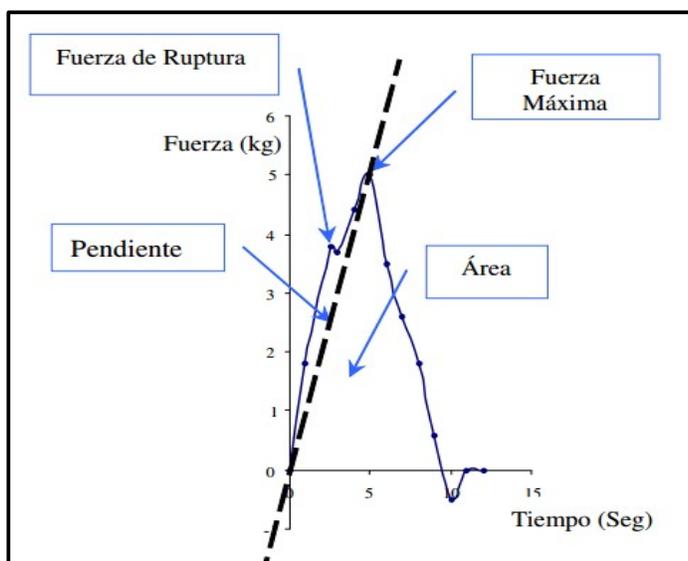


Figura 8: Gráfico representando los valores del test Warner-Bratzler

FUENTE: Ramírez (2004)

Belew *et al.* (2003) clasifican los músculos según la prueba de WB como se observa en el Cuadro 16 a continuación:

Cuadro 16: Clasificación de la terneza de los músculos

Clasificación	Fuerza máxima (kg/cm ²)
Muy tiernos	WB<3.2
Tiernos	3.2<WB<3.9
Intermedios	3.9<WB<4.6
Duros	WB>4.6

FUENTE: Belew et al. (2003)

En el caso de la carne de llama, Mamani-Linares y Gallo (2013b) afirman que un periodo de maduración a 4°C prolongado ayuda a aumentar la terneza de la carne. Ellos encontraron que a los dos días, la fuerza máxima fue 6.56±0.73 kg/cm² y a los siete días fue 4.78±0.36. No obstante, Polidori *et al.* (2007c) mencionan que a los dos días de maduración a 1°C, la fuerza máxima fue 2.16±0.40 kg/cm². Si bien en ambos estudios las llamas tenían aproximadamente 25 meses, las diferencias en la terneza se pueden deber a variación genética (los primeros autores especifican que son de raza Kh'ara de Chile y los segundos no especifican la raza de las llamas peruanas) o a las condiciones de crecimiento (Chile y Perú respectivamente).

Al comparar la carne de llama con otras carnes, como la de bovino y caballo, se observa que la carne de llama es más tierna que la de caballo pero menos tierna que la de bovino, como se observa en el Cuadro 17.

Cuadro 17: Comparación de la terneza de la carne de bovino, caballo y llama (Media \pm DE)

Característica	Bovino	Llama	Caballo
WBSF (kg/cm ²)	1.84 \pm 0.57	2.16 \pm 0.40	2.86 \pm 0.88

FUENTE: Mamani-Linares y Gallo (2011)

e. Flavor

El flavor es un complejo conjunto de sensaciones olfativas, gustativas y trigeminales (sensaciones irritantes o agresivas) percibidas durante la degustación. Percibido por vía retronasal, el flavor es el resultado de la interacción entre sus compuestos con los receptores olfativos (Genot, 2003).

El flavor de la carne puede deteriorarse, aparecen sensaciones consideradas desagradables y un olor rancio característico. Este deterioro suele relacionarse con la oxidación de lípidos, que da lugar a la aparición de sabores y olores anómalos que deterioran su calidad organoléptica. Asimismo, las reacciones oxidativas rebajan la calidad nutritiva del alimento y generan ciertos productos de oxidación potencialmente tóxicos (Fennema, 1993).

La oxidación de los lípidos es considerada un proceso bastante complejo, en el que los ácidos grasos insaturados reaccionan con el oxígeno molecular vía un mecanismo de radicales libres que forma hidroperóxidos. La auto-oxidación primaria esta seguida de una serie de reacciones secundarias que conducen a la degradación del lípido y al desarrollo de la rancidez oxidativa (Sánchez *et al.*, 2008).

El mecanismo básico de la reacción de auto-oxidación de los lípidos ha sido establecido y puede diferenciarse en tres distintas etapas: iniciación, propagación y terminación (ver Figura 9).

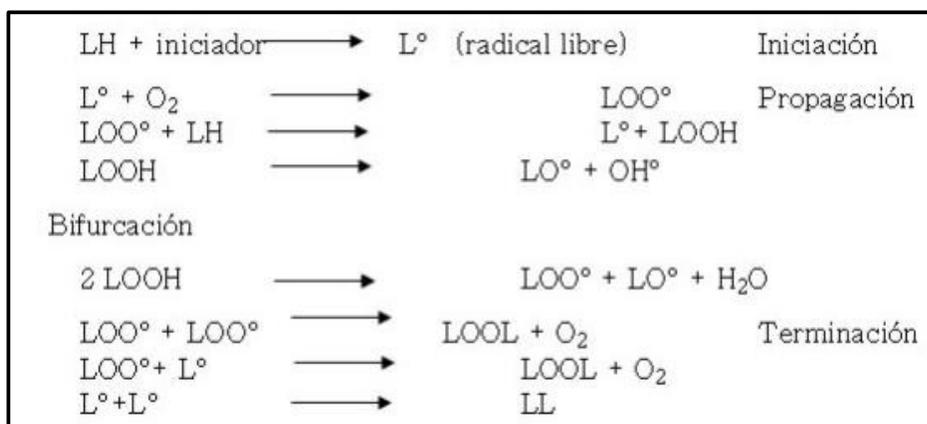


Figura 9: Reacciones del mecanismo de auto-oxidación de lípidos

FUENTE: Monahan (2000) citado por Sánchez *et al.* (2008)

La oxidación de lípidos se inicia con la sustracción de un radical hidrógeno de un grupo metileno alílico de un ácido graso insaturado, o bien por la adición de un radical a un doble enlace que reacciona rápidamente con el oxígeno para formar un peroxiradical. El peroxiradical sustrae un hidrógeno de otra cadena de hidrocarburos, produciendo un hidroperóxido y un nuevo radical libre que puede perpetuar la reacción en cadena (Pearson *et al.*, 1977 citado por Sánchez *et al.*, 2008).

La descomposición de hidroperóxidos lleva consigo además, mecanismos de radicales libres y la formación de productos no-radicales. La hemólisis de hidroperóxidos a radicales hidroxilo y alcoxi, seguida por la “rotura” de la cadena de ácidos grasos adyacente al radical alcoxi, produce compuestos volátiles de bajo peso molecular, algunos de los cuales tienen distintos aromas y pueden afectar las propiedades de flavor a concentraciones de 1 ppm (Sánchez *et al.*, 2008).

Los principales ácidos grasos incluidos en los tejidos son el oleico, linoleico, linolénico y araquidónico, cuya auto-oxidación da lugar a un gran número de diferentes hidroperóxidos y a su vez producen un gran número de compuestos volátiles (Motttram, 1987 citado por Sánchez *et al.*, 2008). Los factores promotores de la oxidación más importantes son: la composición de los ácidos grasos, la presión parcial de oxígeno, la superficie en contacto con el oxígeno, las condiciones de almacenamiento (temperatura, luz, actividad de agua), presencia de enzimas (lipo-oxigenasa), presencia de metales, radiaciones, entre otros (Sánchez *et al.*, 2008).

La estabilidad frente a la oxidación de las carnes rojas con metabolismo oxidativo es inferior a la de las carnes “blancas” cuyo metabolismo es preferentemente glucolítico (Wilson et al., 1976 citado por Genot, 2003). Las carnes rojas son más ricas en mitocondrias que las carnes blancas; contienen más mioglobina, más enzimas de los ciclos de óxido-reducción, más lípidos de membrana y más ácidos grasos poliinsaturados (Cornet y Bousset, 1990 citado Genot, 2003). Asimismo tienen menor cantidad de dipéptidos de actividad antioxidante. Por todo esto las carnes rojas constituyen un entorno favorable a la oxidación. En la literatura, no existen estudios acerca de la oxidación de lípidos en la carne de llama.

El ensayo del ácido tiobarbitúrico (TBA) es el más utilizado para medir el nivel de oxidación de los alimentos y los tejidos. Este método mide el malonaldehído (MDA), un aldehído producto de la descomposición de hidroperóxidos de ácidos grasos poliinsaturados, y un conjunto de sustancias que reaccionan con el TBA (Venegas y Pérez, 2009).

El procedimiento consiste en reaccionar el TBA con el MDA producido por la descomposición del hidroperóxido de lípidos para formar un cromóforo rojo (resultado de la condensación de dos moles de TBA y una mol de MDA, en un medio ácido y a una temperatura mayor a 90°C) con un pico en la absorbancia a 532 nm. La intensidad de la absorbancia a esta longitud de onda está relacionada con la concentración de MDA y también ha sido organolépticamente relacionado con la rancidez (Fernández *et al.*, 1997). En el nivel de oxidación se reporta como unidades de TBA en miligramos de MDA por 100 gramos de muestra (Gray y Monahan, 1992).

2.3.3. CALIDAD SANITARIA

La Norma Técnica Peruana 201.043 (INDECOPI, 2005a) señala que las carcasas y cortes de llama deberán proceder de animales sanos, faenados bajo inspección sanitaria y de plantas faenadoras o camales autorizados por la autoridad competente. Además, no deberán tener residuos de antibióticos, conservadores, ablandadores o sustancias que por naturaleza atentan contra la salud del consumidor. En el Cuadro 18 se observan los requisitos microbiológicos para carne de llama y alpaca establecidos en esta norma.

Cuadro 18: Requisitos microbiológicos para carne de llama fresca y congelada

Indicador microbiológico	Límite
Recuento de microorganismos aerobios mesófilos	Menor a 10^6 ufc/g
Detección de <i>Salmonella</i>	Ausencia en 25 g
Recuento de <i>Escherichia coli</i>	Menor a 10^2 ufc/g
Numeración de bacterias psicrófilas	Menor a 10^5 NMP/g
Recuento de coliformes totales	Menor a 10^2 ufc/g
Numeración de <i>Staphylococcus aureus</i>	Menor 10^2 NMP/g

FUENTE: INDECOPI (2005a)

Las condiciones higiénicas de los mataderos formales son en general aceptables y cuentan con servicios de inspección sanitaria. Por el contrario, el beneficio clandestino se lleva a cabo en condiciones higiénicas poco adecuadas y carentes de control sanitario e inspección veterinaria, lo que constituye un medio de propagación de enfermedades (FAO, 2005).

El principal problema sanitario es la presencia de parásitos en la carne. Se reportan tres especies de *Sarcocystis* en los camélidos sudamericanos (CSA): *Sarcocystis tilopodi* (*S. guanico-ecanis*) en guanacos, *Sarcocystis aucheniae* en alpacas, llamas y vicuñas, y *Sarcocystis lamacanis* en llamas y alpacas (Leguía, 1999 citado por Godoy *et al.*, 2007).

La sarcosistis es una infección de los músculos (se observan quistes) de la llama, se contagia por la ingesta de alimento contaminado con heces que contenían los huevos de los parásitos. El consumo de carne infectada con macroquistes cobra importancia por ocasionar trastornos digestivos, dolor abdominal, diarrea, escalofríos, náuseas y vómitos (Leguía *et al.*, 1989 citado por Godoy *et al.*, 2007). Está comprobado científicamente que tratar la carne, ya sea congelación a -18°C por tres días, calentamiento a 65°C como mínimo, deshidratación o salado, ayuda a eliminar los quistes (Bravo, 2008).

2.4. CONGELACIÓN

2.4.1. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA CONGELACIÓN

La congelación es la acción de someter un producto al frío, de manera que provoque una transformación del agua que contiene a su estado sólido (Genot, 2003).

Cuando el periodo de conservación es mayor que el aceptable para carne refrigerada, la congelación debe utilizarse para minimizar cualquier cambio físico, bioquímico y microbiológico que puede afectar la calidad de la carne durante el almacenamiento. Durante la congelación, gran parte del agua, alrededor del 80 por ciento, se solidifica en cristales de hielo puro, acompañado por la separación de sólidos disueltos (Cano-Muñoz, 1991). Un producto puede considerarse que está congelado cuando alcanza una temperatura de -12°C o menos en el centro. Para alcanzar esta temperatura, el producto pasa a través del rango de temperatura de máxima cristalización (-1°C a -5°C).

La velocidad de congelación es un factor muy importante ya que la calidad de la carne congelada depende fundamentalmente del tamaño de los cristales de hielo formados: cuanto menor sea la velocidad de congelación, mayor será el tamaño de los cristales. La congelación lenta facilita la separación de solutos y la migración de agua fuera de las células musculares, formando cristales grandes. La congelación rápida, por el contrario, produce muchos cristales pequeños, mayormente formados entre las células musculares, y reduce la migración de agua y la separación de solutos (Cano-Muñoz, 1991).

El Instituto Nacional de Refrigeración (IIR) expresa que la velocidad de congelación como la velocidad con la que un frente de temperatura se mueve a través del cuerpo del producto (cm/h). Se obtuvieron buenos resultados cuando la temperatura estaba entre 2 a 5 cm/h, se considera congelación lenta por debajo de 1 cm/h y congelación rápida por encima de 5 cm/h (Cano-Muñoz, 1991).

La velocidad y el tiempo de congelación dependen de la cantidad total de calor que hay que extraer, de la temperatura inicial y final, de las características del producto, como por ejemplo su composición, su masa total, sus dimensiones (especialmente el espesor) y su estructura, de la presencia de embalaje y su naturaleza, y finalmente del procedimiento de enfriamiento (Genot, 2003).

La conservación de los alimentos mediante la congelación produce la inhibición del crecimiento de los microorganismos. A -10°C , todo crecimiento bacteriano se paraliza. A -12°C , los hongos dejan de multiplicarse y, a -18°C , las levaduras. Así pues, por debajo de -18°C no hay ninguna multiplicación de microorganismos. Asimismo, ejerce efectos de

saneamiento en particular sobre los parásitos de la carne que no soportan la congelación. El número de microorganismo iniciales en el alimento tiene tendencia a descender a causa de alteraciones estructurales relacionadas con la formación de cristales de hielo y la crioconcentración de solutos (Genot, 2003).

2.4.2. CURVAS DE CONGELACIÓN

En un producto alimentario, la congelación se traduce en primer lugar en una evolución de la temperatura, no lineal en función del tiempo y que depende de su localización en la muestra. Esquemáticamente, en un punto dado del producto, se puede distinguir la sucesión de tres etapas:

- El **período de pre-congelación** durante el cual la temperatura disminuye hasta alcanzar la temperatura a la cual da comienzo la cristalización;
- **Etapa de congelación** propiamente dicha durante la cual una gran parte del agua congelable se transforma en hielo. Durante este período, la temperatura disminuye progresivamente;
- **Fase de enfriamiento** hasta llegar a la temperatura de almacenamiento (Genot, 2003).

Para determinar la curva de enfriamiento de un alimento se introduce un termopar en el mismo. No todas las curvas de enfriamiento son iguales, su forma depende de la velocidad de remoción de calor, la geometría del producto, empaque, el modo de transferencia de calor y las propiedades térmicas del alimento (Barreriro y Sandoval, 2006). Se pueden identificar dos curvas típicas de congelación: sin subenfriamiento (ver Figura 10) y con subenfriamiento (ver Figura 11).

En el caso de la curva de enfriamiento sin subenfriamiento (ver Figura 10), el producto se encuentra a una temperatura T_0 , descendiendo la temperatura hasta el nivel T_C correspondiente a la temperatura de congelación en este periodo el alimento se enfría removiendo calor sensible por encima del punto de congelación, sin que ocurra cambio de fase. Luego, al alcanzar la temperatura de congelación, el agua dentro del alimento comienza a cristalizar, proceso que ocurre teóricamente a temperatura constante. En realidad, la temperatura no se mantiene constante y se observa siempre una disminución a un nivel T_C' al final de la inflexión (en ese lapso se congela la mayoría del agua del

alimento). Posteriormente, la temperatura desciende desde el final de la plataforma T_C' hasta la temperatura final de congelación T_K siguiendo una curva cóncava hacia arriba y alcanzando asintóticamente la temperatura del medio de congelación. La concavidad de esta curva se explica por el hecho de que el agua remanente sin congelar en el alimento es cada vez más difícil de cristalizar (Barreiro y Sandoval, 2006).

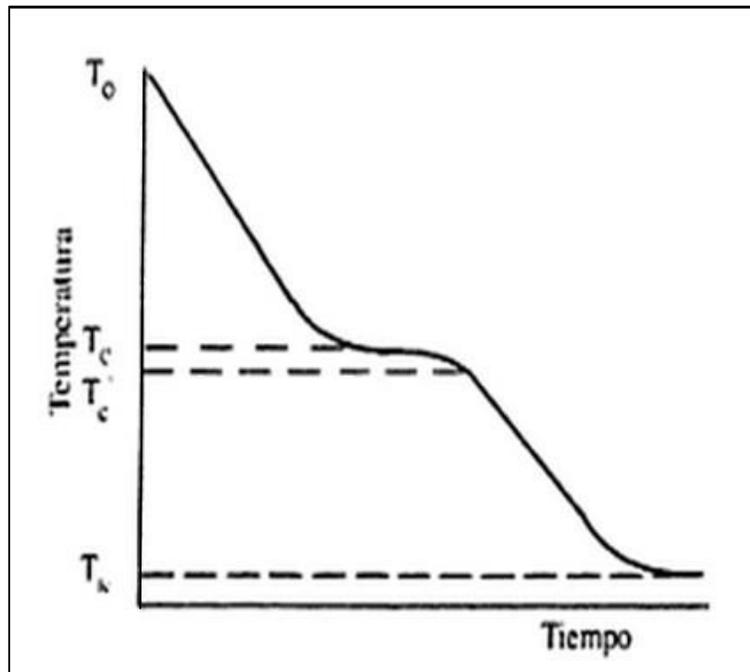


Figura 10: Curva típica de congelación sin subenfriamiento

FUENTE: Barreiro y Sandoval (2006)

Por otra parte, la curva de enfriamiento en la que se observa el fenómeno de subenfriamiento (ver Figura 11), viene representado por el pozo al final de la primera etapa en la cual la temperatura del alimento desciende por debajo del punto de congelación (T_c') sin que de hecho el agua se congele. En esta etapa, el agua conserva sus propiedades de líquido subenfriado. El fenómeno del subenfriamiento no ocurre en todos los alimentos, observándose generalmente en alimentos basados en sistemas coloidales o líquidos muy viscosos. Posteriormente ocurre una subida brusca de la temperatura hasta alcanzar la temperatura de congelación (T_C), prosiguiendo luego la curva de enfriamiento en forma similar a la anteriormente descrita (Barreiro y Sandoval, 2006).

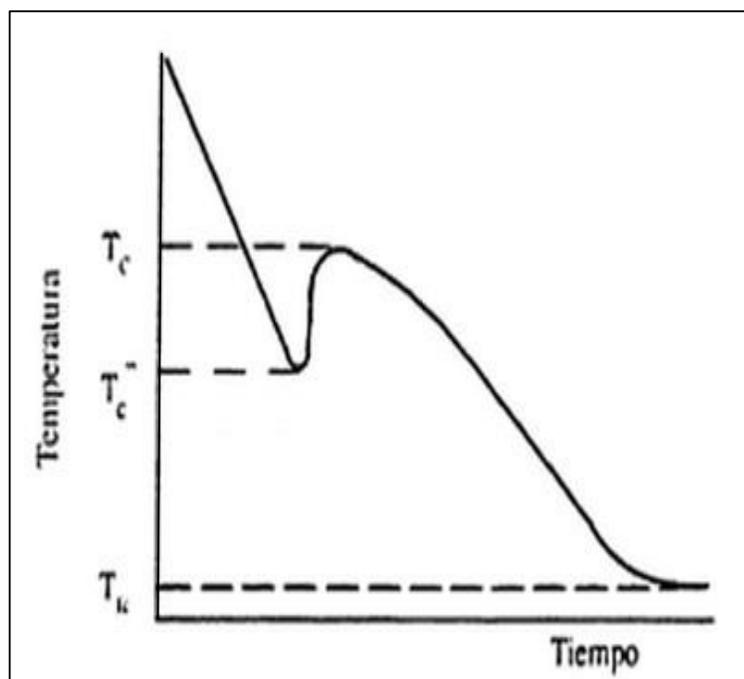


Figura 11: Curva típica de congelación con subenfriamiento

FUENTE: Barreiro y Sandoval (2006)

2.4.3. MÉTODOS DE CONGELACIÓN DE CARNE

La transferencia de calor en congelación puede ocurrir por tres mecanismos: conducción, radiación y convección. La conducción requiere un buen contacto físico entre la carne y el medio congelante, y esto es generalmente difícil de alcanzar con carcasas y otros cortes irregulares (forma) de carne. La radiación no requiere ningún contacto físico, pero si se necesita una gran diferencia de temperaturas entre la superficie de la carne y la superficie circundante para alcanzar un significativo flujo de calor. La convección es el mecanismo de transferencia de calor más importante utilizado en la mayoría de sistemas de refrigeración de carne. En la mayoría de los casos, el aire refrigerado es el medio de transferencia; sin embargo, en algunos casos también se puede utilizar agua, salmuera o un gas criogénico (James y James, 2010).

- a. **Métodos por corriente de aire:** es el método más utilizado para congelar carne, ya que es económico, higiénico y relativamente no corrosivo para el equipo. La

gran ventaja de los sistemas por aire es su versatilidad, especialmente cuando se requiere congelar una variedad de productos de distintas formas o productos individuales. Los sistemas van desde el más básico, en el cual un ventilador aspira aire a través de un serpentín y elimina el aire refrigerado a un cuarto aislado, hasta equipos especializados como túneles o espirales de congelación rápida. En sistemas continuos, la carne se transporta a través de un túnel de congelación o un cuarto refrigerado, usualmente con un transportador aéreo o en una faja. Esto soluciona el problema de la distribución desigual del aire, ya que cada elemento se somete al mismo perfil de velocidad/tiempo (James y James, 2010).

- b. Métodos de congelación por contacto directo:** se basa en la transferencia de calor por contacto entre los productos y la superficie de metal (que se enfría por un refrigerante primario o secundario) o por inmersión directa en un líquido refrigerado. La congelación por contacto ofrece varias ventajas sobre la congelación por aire, por ejemplo presenta una mejor transferencia de calor y un importante ahorro de energía. Sin embargo, las desventajas son: la necesidad de productos de forma regular con grandes superficies planas para un sistema de placa, y la necesidad de envolver y lavar el líquido de inmersión en los sistemas de inmersión (James y James, 2010).

2.5. DESCONGELACIÓN

2.5.1. CONCEPTO Y CARACTERÍSTICAS DE LA DESCONGELACIÓN

La descongelación es una fase crítica en el proceso de congelación ya que implica el cambio de los cristales de hielo a agua líquida, la cual es reabsorbida, y la reactivación microbiana (Cano-Muñoz, 1991).

Al aplicar calor al producto congelado, su superficie se vuelve lo suficientemente caliente para transferir calor al interior y crear condiciones adecuadas de temperatura y humedad para el desarrollo de microorganismos (Cano-Muñoz, 1991).

Bajas temperaturas de descongelación, por debajo de 5°C, reducen el riesgo de crecimiento microbiológico y producen una tasa de descongelamiento lenta, la cual garantiza la eficiente reabsorción del agua derretida. Se recomienda que las carcasas se descongelen

entre 4° y 6°C, suspendidas y sin ninguna cobertura, dentro de un cuarto frío con un bajo nivel de circulación de aire (0.2 m/s aproximadamente). La humedad relativa debe mantenerse baja al inicio (70 por ciento) para evitar la formación de hielo en la superficie de la carne, con un incremento al final del periodo de descongelación hasta 90-95 por ciento. Se considera que el proceso ha terminado cuando la temperatura de la carne está entre 0 a 1°C (Cano-Muñoz, 1991).

Usando una correcta forma de descongelación se obtendrán alimentos de buena calidad, evitando la pérdida de materia prima (sales, humedad y otros componentes). Además dependerá del método de congelación utilizado previamente, ya que determina el tipo de formación de cristales de hielo y el daño mecánico sobre las estructuras celulares de los alimentos (Alarcón *et al.*, 2006).

2.5.2. CURVAS DE DESCONGELACIÓN

Durante la descongelación, la temperatura aumenta rápidamente hasta el punto de fusión más cercano y permanece allí durante todo el curso del proceso de descongelación. Esto resulta en un periodo descongelación más largo comparado al de congelación, permitiendo más tiempo para cambios químicos y microbiológicos (Barbut, 2002).

Cuando los alimentos se descongelan, se comienza a formar una capa acuosa líquida en la superficie del producto. Esta capa tiene una conductividad y difusividad térmica menor que el hielo. Por lo tanto, esta capa reduce la tasa a la cual el calor es conducido al interior todavía congelado. Este efecto aislante se incrementa a medida que la capa de alimento descongelado crece (Barbut, 2002), formando una barrera que mantiene el producto a 0°C durante un largo periodo (Alarcón *et al.*, 2006). Esto es lo opuesto a la congelación, donde el espesor creciente de la capa de hielo hace que la transferencia de calor se acelere (Barbut, 2002).

La curva de descongelación (ver Figura 12) muestra un rápido incremento al inicio cuando todavía no existe una significativa capa acuosa alrededor del alimento. Luego, hay un periodo largo (visto como una meseta) cuando la temperatura está cerca del punto de usión. El tiempo requerido para la descongelación depende de factores como el tamaño del corte

de carne, la temperatura inicial del producto y del medio de descongelación, capacidad térmica de la carne y el método de descongelación (Barbut, 2002).

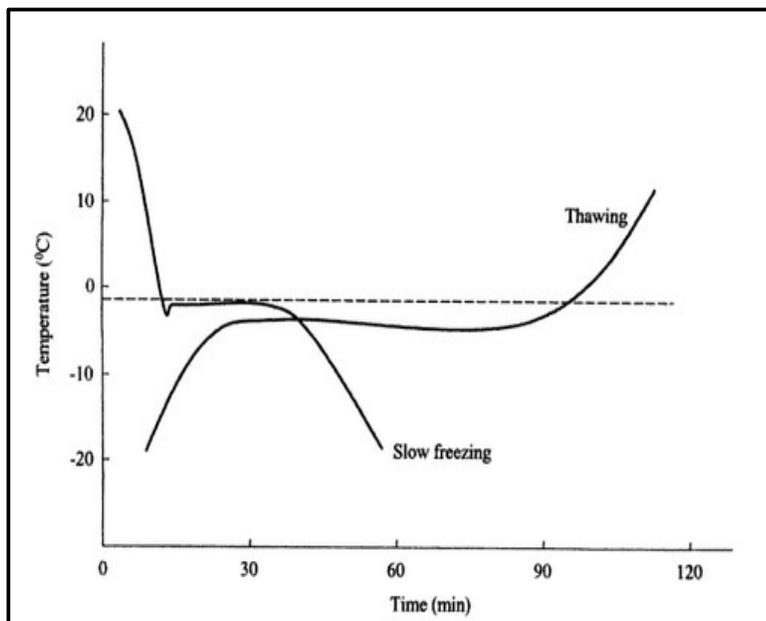


Figura 12: Cambios de temperatura durante congelación y descongelación para similares tamaños de envases

FUENTE: Barbut (2002)

2.5.3. TIPOS DE DESCONGELACIÓN

En función a la finalidad del producto, la descongelación se puede clasificar en 3 tipos:

- Descongelación parcial:** se usa para fabricar porciones individuales congeladas a partir de productos congelados. Se eleva la temperatura del producto hasta -5°C , donde el 60-70 por ciento del agua aún está en forma de hielo pero la consistencia del producto permite la manipulación y preparación de las raciones (Alarcón *et al.*, 2006).
- Descongelación-cocción:** se cuece directamente el producto congelado, en este método se unen la rapidez y la seguridad sanitaria. Se considera que endurece algo la carne (Alarcón *et al.*, 2006).
- Descongelación-transformación:** la descongelación completa es necesaria para efectuar sin dificultad operaciones como el deshuesado de carcasas de aves, piezas de carne, etc. (Alarcón *et al.*, 2006).

2.5.4. MÉTODOS DE DESCONGELACIÓN

La descongelación puede hacerse bajo diferentes condiciones donde la temperatura del ambiente debe ser lo suficientemente fría para no fomentar el crecimiento microbiano que podría dar lugar a una intoxicación alimentaria (Barbut, 2002).

Los métodos más comunes para descongelar alimentos citados por Mataix y Carazo (2005):

- a. **En refrigeración:** el ambiente se mantiene entre 0 y 5°C, demora desde unas horas hasta unos días.
- b. **Bajo chorro de agua:** el agua se encuentra a 21° C, el producto se descongela por un tiempo no mayor a cuatro horas o hasta que la temperatura de la superficie del producto no supere los 4° C, es relativamente rápido.
- c. **En microondas:** presenta la ventaja de ser muy rápido porque el aporte de calor tiene lugar en todas partes del alimento, pero se producen pérdidas parciales de sabores y olores deseables.

2.6. EFECTO DE LA CONGELACIÓN Y DESCONGELACIÓN EN LAS PROPIEDADES DE LA CARNE

2.6.1. COLOR

Según el tamaño de los cristales de hielo, la luz se refleja más o menos en la superficie de las piezas de carne congeladas. Cuando la velocidad de congelación en la superficie es elevada, los cristales son de tamaño menor y reflejan la luz, la carne presenta un color pálido que es el que se busca en el caso de aves congeladas. Por el contrario, en el caso de la carne roja, un color pálido es un atributo no deseable. Es por ello las condiciones de congelación deben ser adaptadas para controlar el tamaño de los cristales de hielo en la superficie de la carne.

Para las aves, una congelación rápida o criogénica mejora el aspecto de la carne congelada; en el caso de las carnes rojas, sería mejor una congelación más lenta para evitar un color pálido a los ojos del consumidor. No obstante, cabe resaltar, que no habría ningún efecto

de la velocidad de congelación sobre el color de la carne si ésta es evaluada después de la descongelación (Genot, 2003).

El pardeamiento de la carne durante su conservación en congelación, se debe a la oxidación de la mioglobina oxigenada u oximioglobina (MbO_2), de color rojo vivo a mioglobina oxidada o metamioglobina (MetMb), de color pardo. En el caso de la carne de vacuno, este cambio de color provoca un rechazo por parte del consumidores cuando el porcentaje de la superficie es superior a 40 por ciento (Renerre y Mazuel, 1985 citado por Genot, 2003).

La oxidación de la oximioglobina en la superficie de la carne es el resultado de proceso de degradación fotoquímica y térmica. En la carne congelada, la auto-oxidación de la mioglobina se retrasa considerablemente y la fotooxidación puede transformarse en el mayor problema (Genot, 2003).

Las carnes rojas son más oscuras, más grises, cuando están congeladas que descongeladas. La carne oscura de aves y conejo pueden tener una apariencia púrpura cuando están congeladas y más rojas descongeladas. La carne blanca de pollo es rojo castaña si se congela lentamente y de color crema a blanca si se congela rápidamente. Estos colores revierten a crema al descongelar. Los colores oscuros son habitualmente tomados como signo de que la carne de ave ha sido descongelada y lentamente recongelada con malas prácticas (Ranken, 2003).

2.6.2. PÉRDIDAS DE AGUA

Las pérdidas de agua por evaporación durante la congelación representan generalmente entre un 0.5 por ciento y 0.2 por ciento de la masa del producto, aunque puede alcanzar un cinco por ciento. Estas pérdidas dependen de las condiciones de congelación, de la velocidad del aire, de su temperatura y su humedad relativa. Las pérdidas son elevadas hasta que el producto alcanza la temperatura de congelación inicial (Genot, 2003). Durante el almacenamiento, el hielo situado en la parte externa del producto sublima, produciendo una deshidratación superficial. Esta pérdida de agua es mayor por la ventilación, el período de almacenamiento, la superficie expuesta y las fluctuaciones de temperatura que favorecen la formación de escarcha en los envases; y es menor a bajas temperaturas ya que

la presión parcial del vapor de agua en la superficie del producto aumenta exponencialmente con la temperatura (Genot, 2003).

La exudación es una pérdida de jugo que se manifiesta durante la descongelación. Representa generalmente entre uno y cinco por ciento de la masa inicial del producto. El fenómeno de exudación contribuye a la pérdida de algunos nutrientes (vitaminas del grupo B, proteínas sarcoplásmicas, aminoácidos libres, dipéptidos, bases nitrogenadas, nucleósidos, nucleótidos, sales, etc.) y el jugo de exudación crea un ambiente favorable para el crecimiento de microorganismos. Estas pérdidas dependen del volumen de líquido generado y de la velocidad de migración del mismo del interior al exterior de la carne (Genot, 2003). Las pérdidas por goteo de la carne que está congelada y luego descongelada están en gran parte afectadas por la velocidad de congelación. Cuanto más rápido se congela la carne, más bajas son las pérdidas (Ranken, 2003).

Generalmente se admite que cuanto más rápida sea la congelación, menor será el deterioro inducido por ésta y mejores serán las cualidades del producto durante su uso o su consumo. Pero en el caso de la carne y de los productos cárnicos, la situación no es tan clara y los resultados relativos al efecto de la velocidad de congelación sobre la calidad de la carne, y en particular sobre las pérdidas de jugo durante la descongelación parecen contradictorios (Genot, 2003).

La descongelación no debe ser muy lenta ya que esto favorece la recrystalización y una permanencia prolongada en la zona de inestabilidad química de la carne (0°C a -5°C). Tampoco debería ser muy rápida para permitir la reabsorción de agua por la célula conforme van fundiéndose los cristales de hielo (González-Sanguinetti *et al.*, 1985 citado por Genot, 2003).

La velocidad óptima de descongelación depende directamente de la velocidad a la cual la carne fue congelada. Una congelación rápida necesita una descongelación rápida y una congelación lenta necesita una descongelación lenta (Ambrodiadis *et al.*, 1994 citado por Genot, 2003). La asociación de una congelación lenta con una descongelación rápida es particularmente desastrosa desde el punto de vista de las pérdidas durante la descongelación (Genot, 2003).

Las pérdidas de agua durante la cocción dependen de las características iniciales de los productos, de los tratamientos aplicados y, en particular, las condiciones de cocción. Laroche (1981) citado por Genot (2003) ha observado que no hay influencia de la congelación sobre las pérdidas en el calentamiento cuando la carne es calentada a más de 60°C, mientras que después de un tratamiento térmico moderado, las pérdidas observadas en la carne congelada son significativamente importantes, comparadas con la carne fresca. Las pérdidas durante la cocción dependen igualmente de las pérdidas por exudado durante la descongelación ya que una exudación muy importante reduce la cantidad de jugo susceptible a formarse durante la cocción (Genot, 2003).

2.6.3. PROTEÍNAS

Los grandes cristales de hielo producen modificaciones estructurales: deformación de las células musculares, rotura de las miofibrillas y desplazamientos del tejido conjuntivo del endomisio. También sufren daño durante la congelación de la carne los orgánulos celulares (mitocrondias, lisosomas), liberando enzimas que pueden contribuir a producir alteraciones después de la descongelación (Moreno, 2006).

Para formar cristales, el agua libre debe separarse de las proteínas, lo que determina cambios en las mismas, disminuyendo su capacidad de retención de agua y la solubilidad: es la llamada desnaturalización por congelación (Moreno, 2006).

La congelación causa la rotura de los puentes de hidrógeno y los puentes salinos. Como resultado la proteína se despliega y las cadenas laterales que se encuentran escondidas en el centro de la molécula quedan expuestas. Están entonces disponibles para reaccionar con otros grupos químicos y, en la mayoría de los casos, la proteína desnaturalizada precipita. Esta reacción es habitualmente irreversible; la proteína desnaturalizada no puede recuperar la conformación original. Las proteínas desnaturalizadas normalmente pierden sus propiedades funcionales, son incapaces de desempeñar su función normal en el alimento (Vaclavik, 2002).

Además, el aumento en la concentración de iones y la consiguiente caída del pH en los líquidos residuales aún no congelados, contribuyen también a una progresiva

desnaturalización proteica (Moreno, 2006). Los compuestos de elevado peso molecular, tales como las lipoproteínas, se ven particularmente afectados por la desnaturalización, lo que ocasiona lesiones en las membranas celulares, que son causa de las modificaciones de sus propiedades osmóticas (Moreno, 2006).

Estos cambios en la capacidad de hinchamiento, en la solubilidad y en la capacidad de retención de agua de las proteínas que tienen lugar durante la congelación, son los responsables, junto con los cambios estructurales debidos a la formación de cristales, sobre todo si son grandes, de las pérdidas de agua por goteo y exudación que tienen lugar durante y después de la congelación (Moreno, 2006). Los cambios estructurales, físicos y químicos que produce la congelación en la carne deberían ser reversibles en el proceso de descongelación, es decir, que todo debería volver a su estado inicial. Generalmente, esto no sucede así, aun cuando todas las operaciones (congelación, mantenimiento en congelación y descongelación) se hagan correctamente y esta es la causa de la pérdida de calidad de la carne congelada en relación con la refrigerada (Moreno, 2006).

2.6.4. TEXTURA

En la mayoría de casos, la congelación provoca un ligero aumento de la ternura de la carne (Genot, 2003). El aumento de la sensibilidad (entre la ternura y la fuerza de corte) se correlaciona con el tiempo de almacenamiento en congelación y el grado de envejecimiento de la carne antes de la congelación (Vieira *et al.*, 2009, citado por Leygonie *et al.*, 2012a).

El mecanismo implicado en el ablandamiento se piensa que es una combinación de la descomposición de las fibras musculares por acción enzimática durante la proteólisis, el envejecimiento y la pérdida de la integridad estructural causada por la formación de cristales de hielo. La formación de grandes cristales de hielo extracelulares altera la estructura física, rompiendo en gran medida las miofibrillas y dan como resultado el ablandamiento. Sin embargo, la formación de pequeños cristales de hielo intracelulares aumenta la tasa de envejecimiento probablemente por la liberación de enzimas de proteasa (Vieira *et al.*, 2009, citado por Leygonie *et al.*, 2012a). En la práctica, la ternura no siempre mejora con la congelación. Un panel sensorial entrenado sostuvo que la carne

congelada/descongelada es menos tierna que la carne refrigerada. Este resultado sensorial fue atribuido a la pérdida de fluido durante la descongelación que da como resultado en menos agua disponible para hidratar las fibras musculares; por lo tanto, una mayor cantidad de fibras por área de superficie parecían aumentar la tenacidad. (Lui *et al.*, 2010, citado por Leygonie *et al.*, 2012a).

2.6.5. FLAVOR

Durante la conservación en estado congelado, el flavor de la carne se deteriora. En la primera etapa, el flavor parece menos equilibrado sin ser desagradable; se describe como de menor intensidad y más liso que la en la carne fresca. Posteriormente, si la conservación en frío se prolonga, aparecen sensaciones nuevas generalmente consideradas como desagradables. El olor rancio es un ejemplo muy característico (Genot, 2003). La velocidad de congelación no influye significativamente sobre la oxidación de la carne congelada (Daudin, 1988 citado por Genot, 2003). Asimismo, las técnicas de descongelación no parecen modificar la apreciación sensorial del olor y del sabor (Ambrosiadis *et al.*, 1994 citado por Genot, 2003).

La estabilidad contra la oxidación de los productos congelados aumenta cuando la temperatura de almacenamiento disminuye. Al descender la temperatura por debajo de 10°C, el tiempo de conservación de la carne se multiplica 2 a 3.5 veces. Sin embargo, una mayor disminución de la temperatura no conduce necesariamente a la prolongación de la vida útil del producto. Por ejemplo, si la temperatura de conservación de carne picada de vacuno desciende de -12 a -23°C, su estabilidad contra la oxidación mejora significativamente, aunque no se observa ninguna mejora cuando se pasa de -23 a -34°C (Bhattacharya *et al.*, 1988 citado por Genot, 2003). Algunos productos transformados muestran incluso una estabilidad llamada “inversa”, es decir, que su estabilidad frente a la oxidación disminuye, si la temperatura aumenta. Entonces, la estabilidad depende de la temperatura de conservación, de las fluctuaciones de la misma y del orden en que se producen estos cambios de temperatura (Genot, 2003).

La prevención de las alteraciones del flavor durante la conservación en estado congelado de la carne y de los productos cárnicos pasa primero por el control de calidad de las

materias primas y por el uso de los envases (Genot, 2003). Por ejemplo, las chuletas de cerdo conservadas en ausencia de luz en un envase protector a -30°C durante más de 6 meses y luego descongeladas a 2°C durante 24 horas, tienen las mismas características sensoriales que la carne fresca (Devine *et al.*, 1996 citado por Genot, 2003). Así pues, la oxidación lipídica dependerá del tiempo y temperatura de almacenamiento y del tipo de carne almacenada como se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro 19: Tiempo de almacenamiento (meses) al que se manifiesta la oxidación lipídica en carne magra

	Temperatura de almacenamiento			
	-8 °C	-15°C	-22°C	-30°C
Vacuno	3	6	12	-
Porcino sin piel y grasa	-	3	6	12

FUENTE: Hui *et al.* (2004).

2.6.6. pH

El pH de la carne que ha sido congelada y descongelada tiende a ser menor que antes de la congelación (Leygonie *et al.*, 2011, citado por Leygonie *et al.*, 2012a). Como el pH es una medida de la cantidad de iones libres de hidrógeno (H^+) en una solución, es posible que la congelación con producción de exudado posterior, durante el descongelamiento, podría causar la desnaturalización de proteínas, la liberación de los iones de hidrógeno y una posterior disminución en el pH. Alternativamente, la pérdida de líquido de la carne puede causar un aumento en la concentración de los solutos, lo que resulta en una disminución en el pH (Leygonie *et al.*, 2012a).

2.7. MARINADO

2.7.1. CONCEPTO Y CARACTERÍSTICAS

El término marinado se refiere al proceso mediante el cual se incorpora una solución acuosa u oleosa, que puede contener diferentes ingredientes y/o aditivos, con el objetivo de

mejorar el sabor, dar suavidad u otro tipo de atributos como color y jugosidad (Cruz, 2007). El marinado se puede realizar en cualquier tipo de músculo cárnico de cerdo, vaca, pollo, pavo, cordero, etc. Su efecto será más notorio cuanto más seco y duro sea el músculo.

Se deben tener en cuenta los siguientes factores y parámetros ya que ellos influyen en las características del producto marinado final:

- **Edad del animal:** debe ser un animal joven ya que tiene mayor proporción de carne magra que grasa y una mayor cantidad de grupos reactivos (más proteína) capaces de asociarse con moléculas de agua. Además presenta una mayor solubilidad del colágeno y permite una mayor penetración de la solución de marinado (Xargayó *et al.*, 2004).
- **Raza:** se han descrito efectos significativos de las diferentes razas en características como grasa intramuscular, capacidad de retención de agua, color y terneza. En algunas razas se observa un descenso muy rápido del pH después del sacrificio, dando lugar a una carne PSE, este efecto se explica por la alta frecuencia del gen halotano. Otras razas muestran como norma general un pH muy bajo, dando lugar a una carne con baja CRA y grandes pérdidas en la cocción, este hecho está relacionado con el gen RN (Xargayó *et al.*, 2004).
- **Maduración de la carne:** pasado el rigor mortis y con el paso del tiempo (*ageing*), la degradación de proteínas elimina las conexiones estructurales entre los filamentos musculares y entre las membranas celulares y los filamentos estructurales. Como resultado los grupos de las proteínas cargados eléctricamente quedan expuestos para que puedan unirse a las moléculas de agua del marinado (Xargayó *et al.*, 2004).
- **pH:** el poder de retención de agua está estrechamente ligado al pH último y es directamente proporcional a ese valor de pH. Cuando la caída del pH es rápida, las alteraciones sufridas por las proteínas miofibrilares y sarcoplasmáticas se traducen en el descenso de poder de retención de agua (Xargayó *et al.*, 2004).

Además durante el proceso de marinado es importante tener en cuenta una serie de parámetros para lograr el aumento de la calidad deseada, los cuales se detallan a continuación:

- **Temperatura de materias primas y proceso:** se debe realizar un control riguroso de temperaturas, la de la carne debería estar entre 1 y 4°C y el marinado por debajo de 6°C (Xargayó *et al.*, 2004).
- **Mantenimiento y cuidado de los equipos:** las inyectoras se deben mantener en las mejores condiciones para evitar desviaciones en el porcentaje de inyección o a una mala distribución del marinado (Xargayó *et al.*, 2004).
- **Porcentaje de inyección:** los porcentajes recomendados para aumentar la calidad organoléptica de la carne estarán entre 5 y 20 por ciento, según el tipo de animal y músculo. Si ocurre un exceso de inyección, se produce una textura gomosa o demasiado blanda, presencia de drenaje en las bandejas y una excesiva contracción del músculo durante la cocción (Xargayó *et al.*, 2004).

2.7.2. TIPOS DE MARINADO

Tradicionalmente se utilizan tres métodos para elaborar productos marinados: inmersión, masaje e inyección; los cuales se describen a continuación:

- Por inmersión:** consiste en sumergir la carne en el marinado dejando que los ingredientes penetren en la carne por difusión con el paso del tiempo. Este método es el más antiguo y es poco fiable porque no proporciona regularidad en la distribución de los ingrediente, aumenta el riesgo de contaminación bacteriana, requiere tiempos largos de proceso y limita la cantidad de marinado a absorber (Xargayó *et al.*, 2004).
- Por masaje:** los trozos de carne sufren un proceso de masajeo y descanso (golpe y rozamiento) bajo refrigeración, facilitando la extracción de proteínas solubles y la distribución de la salmuera de forma uniforme. Tiene mayor aplicación en trozos de carne pequeños y deshuesados ya que es difícil conseguir una buena difusión de los ingredientes en piezas grandes, impidiendo la homogeneidad y uniformidad del producto final. Además puede dañar los productos con hueso, provocando la separación de estos y la pérdida de la morfología propia del producto (Xargayó *et al.*, 2004).
- Por inyección:** por lo general se utilizan inyectoras con bombas que impulsan la salmuera o marinado a través de agujas de 1mm de diámetro o más, formando un depósito de salmuera en la zona de penetración de la aguja. Sin embargo, la

inyección mediante una inyectora multiagujas con efecto “spray” es el método más seguro, fiable y moderno; no se forman bolsas de salmuera alrededor de la aguja sino que fuerzan el marinado a pasar a gran velocidad (0.6 mm de diámetro), causando la dispersión de miles de microgotas nebulizadas, las cuales se introducen profundamente entre las fibras cárnicas sin causar daño a la estructura muscular (Xargayó *et al.*, 2004).

2.7.3. COMPOSICIÓN Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES DE LA CARNE

Los aditivos y/o ingredientes a utilizar en la composición del marinado dependerán del objetivo definido para cada producto. Su funcionalidad se basará principalmente en su contribución al aumento de la capacidad de retención de agua y su efecto sobre la jugosidad y textura de la carne (Miller *et al.*, 1998 citado por Xargayó *et al.*, 2004). Aparte del agua, que debe ser alta calidad y libre de iones Ca^{2+} , Mg^{2+} y metales pesados (Freixanet, 2012), existen otros ingredientes que pueden tener una determinada funcionalidad en el proceso de marinar como son el cloruro de sodio y los fosfatos.

a. Cloruro de sodio

El cloruro de sodio (NaCl) tiene un papel básico en el aumento de la capacidad de retención de agua, reduciendo el drenaje y las pérdidas por cocción (Xargayó *et al.*, 2004). Esto ocurre debido al complejo sal-proteína que se forma en tales circunstancias (Lawrie, 1974 citado por García, 2000).

La adición de cloruro de sodio ejerce tres efectos fundamentales:

- Aumento y disolución de proteínas miofibrilares, así como el incremento de la cantidad de agua inmovilizada (Wismer, 1971 citado por García, 2000).
- Incremento en la hidroficidad de las proteínas musculares superficiales, lo cual conduce a ligar grasa (Wismer, 1971 citado por García, 2000).
- Formación de una red estable al calor, resultado de fuerzas hidrofóbicas durante el calentamiento (Wismer, 1971 citado por García, 2000).

Cuanto más fuertemente estén unidos los iones a la proteína, mayor es el efecto hidratante. Los iones desplazan el punto isoelectrico de las proteínas hacia valores pH más bajos, lo cual aumenta la CRA con respecto al punto isoelectrico original, además de incrementar los espacios entre filamentos por arriba de pH 5 dando lugar a que un mayor número de cargas queden expuestas para unirse a moléculas de agua.

En Figura 13 se observa el desplazamiento del punto isoelectrico de las proteínas de la carne al inyectarle 2 por ciento de NaCl. Cerca al punto isoelectrico (a) se observan las moléculas de cloruro de sodio entre los filamentos de la carne; a medida que el pH de la carne aumenta, las cargas negativas quedan expuestas para unirse a las moléculas de agua, la repulsión entre cargas es mayor y el espacio entre los filamentos se incrementa (b y c), teniendo así la capacidad de retener más agua. Asimismo, se sabe que las proteínas cárnicas pueden hincharse hasta dos veces su tamaño en presencia de las concentraciones de cloruro de sodio utilizadas en el procesamiento de la carne (Xargayó *et al.*, 2004).

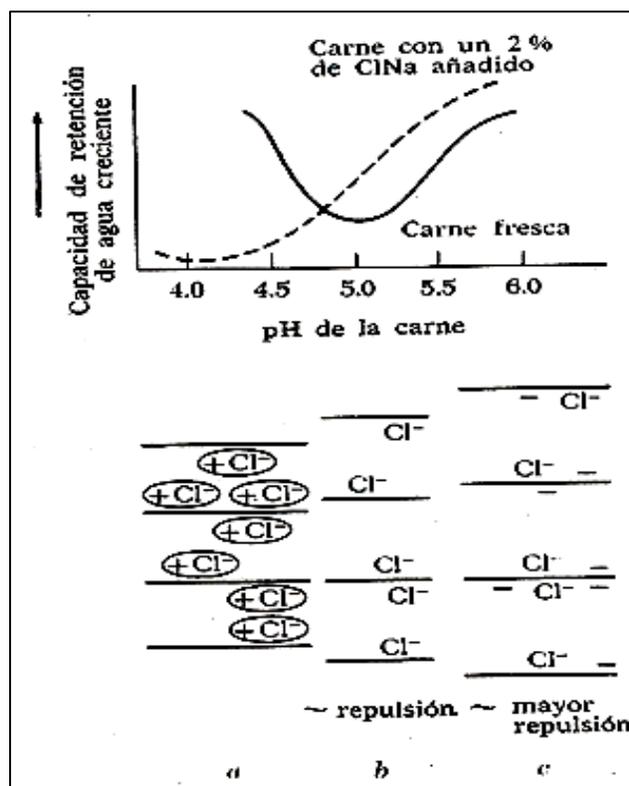


Figura 13: Efecto de la adición de cloruro de sodio sobre la capacidad de retención de agua de la carne

FUENTE : Price y Schweigert (1994)

Además la cloruro de sodio limita la estabilidad de los productos cárnicos frente a la oxidación de lípidos porque: (1) amplifica la actividad de los catalizadores de la oxidación, (2) modifica de una manera directa la reactividad del hierro por su interacción con el ion cloruro, (3) el ión favorece el arrastre de una parte del hierro fijado por otras macromoléculas y (4) la actividad del ión cloruro está influenciada por la mieloperoxidasa (Genot, 2003).

b. Fosfatos

Los fosfatos son las sales del ácido fosfórico, entre los más empleados se encuentran los ortofosfatos (fosfatos simples), los monofosfatos, los difosfatos y los polifosfatos. Presentan un mecanismo doble de acción para mejorar la capacidad de retención de agua: aumentando de pH de la carne y solubilizando las proteínas musculares (García, 2000).

El pH alcalino de los fosfatos provoca un desplazamiento del pH de la carne a valores por encima del punto isoelectrico de las proteínas (entre 5,2 y 5,3), aumentando las cargas negativas capaces de ligar agua. Existen estudios científicos que demuestran que la adición de agua conteniendo un 0.5 por ciento de fosfatos en producto final, da como resultado valores de cizalla más bajos, mejorando la capacidad de retención de agua y consecuentemente la carne se muestra más tierna y jugosa (Smith *et al.*, 1984 citado por Xargayó *et al.*, 2004).

Por otra parte, los fosfatos actúan como agentes secuestrantes de los iones Ca^{2+} , responsables de mantener las cadenas proteínas unidas formando una red tridimensional. De este modo se produce un relajamiento muscular, aumentando el espacio disponible para la incorporación de agua (Xargayó *et al.*, 2004). La adición de fosfatos presenta otros beneficios asociados con su uso: mejora del sabor de la carne como resultado de la retención de jugos naturales, disminuye la oxidación o rancidez y mejora la retención del color (Lawrie, 1977 citado por García, 2000).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación se desarrolló en las siguientes instalaciones de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM):

- Carnicería del Centro de Ventas.
- Laboratorio de Análisis Físico Químico de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias.
- Laboratorio de Investigación e Instrumentación de la Facultad de Industrias Alimentarias.
- Laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias.

3.2. MATERIA PRIMA

Se utilizó 12 músculos *Semimembranosus* (*SM*) de llamas macho de la raza Ccara de entre 18 a 24 meses de edad, provenientes del distrito de Marcapomacocha en la región Junín. Se decidió utilizar este corte ya que la pierna representa la mayor proporción (30 a 40 por ciento) del total de la carcasa de llama.

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS

3.3.1. MATERIALES

a. De soporte

- Gradilla
- Pinzas

- Soporte universal

b. De uso específico

- Baguetas.
- Bolsa de polietileno de cierre deslizable REYNOLDS.
- Bombillas.
- Campana desecadora.
- Cápsulas metálicas.
- Crisoles de porcelana.
- Cuchillos.
- Embudo de vidrio.
- Espátulas.
- Envasado de plástico de 1 L de capacidad.
- Guantes.
- Hielo picado.
- Jeringas descartables de 20 ml, aguja 21G x 1 ½” (0.8 x 40mm).
- Luna de reloj o placa petri.
- Matraz Kitasato de 500 ml.
- Papel de seda.
- Papel filtro Whatman #40.
- Perlas de ebullición.
- Plancha de calentamiento.
- Sistema de destilación por arrastre de vapor.
- Tablas de picar.
- Tubos de centrifuga.
- Vasos de precipitado de 25 ml, 50 ml, 100 ml y 250 ml

c. Recipientes

- Balón de digestión Kjeldal.
- Matraz Erlenmeyer de 50 ml, 150 ml, 250 ml y 500 ml.

- Tubos de ensayo.
- Tubos de vidrio con rosca (13x 10mm).
- Picetas

d. Volumétricos

- Buretas de 25 ml.
- Matraz volumétrico de 5 ml, 10 ml, 25 ml, 50 ml y 100 ml.
- Pipetas de 1ml, 5 ml y 10 ml.
- Probetas de 25 y 50 ml.

3.3.2. EQUIPOS E INSTRUMENTOS

- Agitador tipo vortex, VELP SCIENTIFICA.
- Analizador de textura QTS 25 (Brookfield[®] CNS Farnell).
- Balanza analítica ADAM, modelo CBW-12Ah.
- Balanza eléctrica comercial CASIO.
- Centrífuga Hettich, MIKRO 220R.
- Centrifuga MLW, modelo T62.
- Cronómetro CASIO.
- Datatrace[®] Micropack Radio Frequency Data Logger.
- Equipo de baño maría MEMMERT, modelo TYP:WB14.
- Equipo de envasado al vacío HENKELMAN, modelo Boxer 42.
- Equipo semi-micro Kjeldahl RELES: digestor y destilador.
- Equipo Soxhlet KOSSODO: sifón, condensador y balón de vidrio.
- Espectrofotómetro MILTON TOY, modelo Spectronic Génesys 5.
- Estufa eléctrica HERAEUS, modelo KF-500.
- Horno mufla eléctrica HERAEUS GmbH.
- Licuadora OSTER.
- Micropipeta BRANDde volumen variable 20-250 µl.
- Potenciómetro digital HANNA.
- Termómetro de mercurio GIARDINO ITALY.

- Termómetro digital CASIO.

3.3.3. REACTIVOS

- 1,1,3,3-Tetraetoxipropano (TEP), SIGMA-ALDRICH.
- Ácido bórico, MERCK, solución de ácido bórico al 4%.
- Ácido clorhídrico MERCK, solución valorada al 0.1N.
- Ácido sulfúrico concentrado, libre de nitrógeno, MERCK.
- Ácido tiobarbitúrico (TBA), FERMONT.
- Ácido tricloroacético (TBA), MERCK.
- Agua destilada.
- Arena de mar lavada grado fino, MERCK.
- Butilato hidroxitolueno (7,2% en etanol, v/v), SIGMA-ALDRICH.
- Cloruro de sodio (NaCl), FERMONT.
- Etanol al 96 por ciento, SIGMA ALDRICH.
- Éter de petróleo, M. TEDIA.
- Fenoltaleína, FERMONT.
- Fosfato de sodio, CARLO ERBA.
- Fosfato de potasio, MERCK.
- Hidróxido de sodio, MERCK, para preparar una solución al 35% (p/v).
- Sulfato de Cobre (II) pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), J .T. BAKER.
- Sulfato de Potasio anhidro (K_2SO_4), JT. BAKER.

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1. EVALUACIÓN DE LA CONGELACIÓN Y DESCONGELACIÓN

a. Descripción de los equipos

Para evaluar la congelación, se utilizó una congeladora vertical (marca Frigidaire Commercial) de un solo compartimento, con un volumen interior de 19.4 pies³ (550 litros aproximadamente), cuya carga de enfriamiento total fue de 550W. En el caso de la

refrigeración, se utilizó un refrigerador (LG- modelo GR-131SF) de un volumen interior de 3 pies³ (85 litros) con sección para la congelación (12 litros) y otra para la refrigeración (73 litros), cuya carga de enfriamiento fue 68W.

b. Curva de congelación

Se elaboraron las curvas de congelación para analizar si los diferentes tratamientos causaban algún efecto en el proceso de congelación de la carne, para ello se empleó la metodología propuesta por Anderson *et al.* (2004) con algunas modificaciones:

- Los filetes de carne de llama se ensayaron a un nivel de bajo peso (200-250 g), el peso indicado es el peso total del producto ensayado en cada ensayo experimental (Ver Anexo 3).
- Los filetes se equilibraron a 4 °C aproximadamente en un refrigerador (por separado) antes de la prueba. Se midió el espesor, largo y ancho de las muestras antes de la congelación (Ver Anexo 3).
- Antes de la experimentación, el congelador se equilibró a la temperatura media deseada (-20°C). El congelador estaba vacío excepto por el producto ensayado.
- Cada muestra se envasó (con espacio libre) en un bolsa de cierre deslizable de polietileno (para minimizar pérdidas por evaporación y secado) y se colocó en una plato de espuma de poliestireno de 1.5 mm de espesor (para evitar la transferencia de calor por contacto con el equipo) y una sonda PT100 se insertó en el producto cerca del centro (a la mitad de la distancia del largo, ancho y espesor; ver Figura 14).

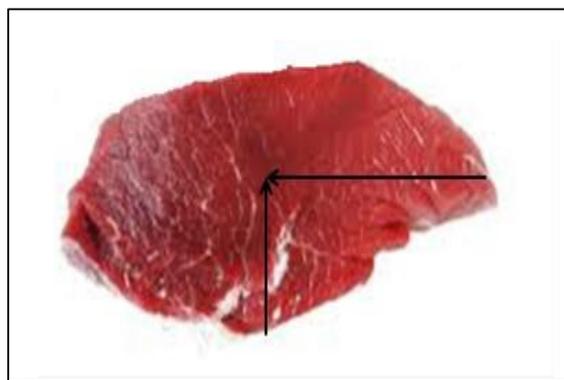


Figura 14: Centro del filete de carne

- La muestra se colocó en un estante en el congelador, situado en un nivel alrededor de un tercio del total de altura del congelador. Un segundo sensor se utilizó para medir la temperatura del aire se colocó en el compartimiento del congelador a la misma altura de la muestra (de 5 a 8 cm de distancia de la misma) como se observa en la Figura 15.

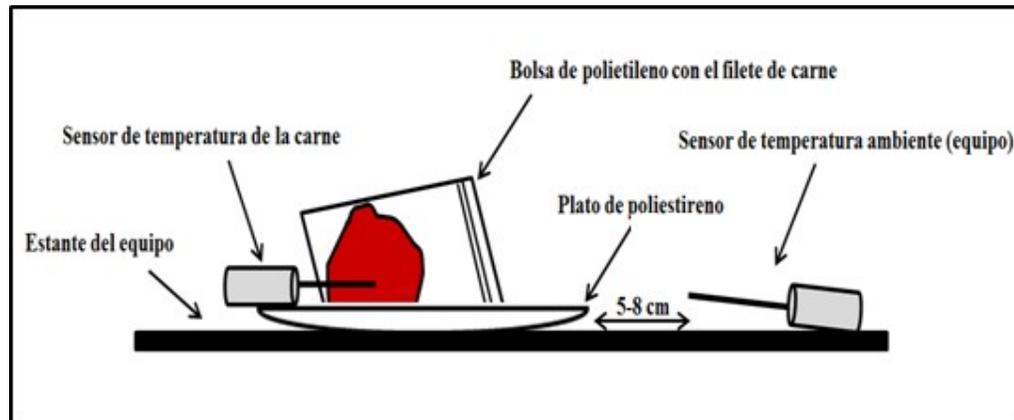


Figura 15: Descripción gráfica del ensayo

- Todos los sensores fueron conectados a un software DATATRACE, las temperaturas se registraron cada 30 s durante la prueba. El ensayo se realizó por triplicado.
- Se determinó el tiempo requerido para congelar el producto de 4°C a -20°C.

c. Curva de descongelación

Se elaboraron las curvas de descongelación para ver si los diferentes tratamientos causaban algún efecto durante la descongelación de las muestras, para ello se empleó la metodología propuesta por Anderson *et al.* (2004) con algunas modificaciones:

- Antes de la descongelación, una pinza metálica (1 mm de diámetro) se insertó en la muestra para preparar el agujero para el sensor, procurando que el agujero sea el mismo dejado por el sensor al momento de la congelación.
- La muestra se volvió a colocar en el congelador (-20°C), para que se equilibrará a la temperatura deseada, la pinza se retiró, se insertó el termopar en el agujero dejado por lo pinza y se colocó la muestra sobre el plato de poliestireno como en el ensayo de la congelación. Se colocó un sensor adicional cerca (de 5 a 8 cm de

distancia) de la muestra congelada para medir la temperatura del aire durante la descongelación.

- Antes de iniciar el ensayo, el refrigerador se equilibró a la temperatura deseada (3°C).
- Se recogieron los datos de temperatura, cada 60s, durante el ensayo. Este se realizó por triplicado.
- Una vez que el producto alcanzó 0°C, la muestra se retiró, y se pesó la muestra y el sistema de placas para determinar la pérdida por descongelación.

d. Determinación de los puntos de congelación y descongelación

Para determinar los puntos de congelación y descongelación se utilizó la metodología mencionada por James *et al.* (2005). Para ello se utilizaron los datos experimentales de las curvas de temperatura versus tiempo. El punto de congelación fue tomado como la temperatura inicial de la meseta de la curva de congelación, temperatura a la cual no se observa diferencias entre mediciones consecutivas. El punto de fusión fue tomado como la temperatura final de la meseta de la curva de fusión, temperatura a la cual se identifica el primer aumento de la tasa de cambio de la temperatura (diferencia de temperaturas, $(\Delta T^\circ)/\text{tiempo (t)}$).

3.4.2. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

a. Humedad

La determinación del contenido de humedad se realizó por desecación en estufa siguiendo la metodología propuesta por la NTP-ISO 1442 (INDECOPI, 2006).

b. Proteína bruta – Nitrógeno total

Para la determinación de proteína se siguió la metodología sugerida en la NTP 201.021 (INDECOPI, 2002b), cuantificando el nitrógeno total por el método de Kjeldahl.

c. Grasa – Extracto etéreo

Se obtuvo por medio del extractor Soxleht basándose en la NTP 201.016 (INDECOPI, 2002a).

d. Cenizas

Se determinó por medio de la calcinación en mufla siguiendo la metodología de la NTP 201.022 (INDECOPI, 2002c).

e. pH

La medición del pH se realizó siguiendo la metodología de la NTP-ISO 2917 (INDECOPI, 2005b).

f. Determinación de la capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua a la carne se basa en cuantificar la captación de agua añadida después de la aplicación de una fuerza centrífuga. Se midió utilizando el método descrito por Pietrasik *et al.* (1977) citado por Rengifo y Ordóñez (2010):

- Se añadió 8 mL de cloruro de sodio (NaCl) 0,6 M a 5 gramos de carne molida (cribas de 3 mm de diámetro).
- Se incubaron las muestras tratadas a 5 °C durante 30 minutos.
- Se centrifugó a 3 600 rpm por 15 minutos
- Se determinó la CRA midiendo el volumen del sobrenadante (solución de agua y NaCl).

g. Pérdida por descongelación

Se pesaron los filetes descongelados y la pérdida por descongelación se expresó en porcentaje del peso inicial de la carne (Pietrasik *et al.*, 2009).

h. Pérdida por cocción

Para determinar la pérdida por cocción, la carne se pesó (aproximadamente 100 gr.), se envolvió en papel aluminio, se colocó en una bolsa de polietileno y se cocinó en un baño de agua a ± 80 °C durante 60 minutos (Honikel, 1998; citado por Leygonie, *et al.*, 2012b). La muestra se retiró del baño de agua, se escurrió el agua de la bolsa durante 30s y la muestra (aún en la bolsa) se enfrió en una corriente de agua hasta que la temperatura en el centro llegue a ± 20 °C (la temperatura se monitorea con un termómetro digital de punzón) después de lo cual se secó con papel de seda y se pesó. La pérdida por cocción se calculó como el porcentaje de peso perdido (Leygonie, *et al.*, 2012b).

i. Sustancias reactivas con el ácido 2-tiobarbitúrico (TBARS)

La determinación de las sustancias reactivas con el ácido 2-tiobarbitúrico se realizó siguiendo la metodología descrita por Nam y Ahn (2003). La recta patrón se preparó del mismo modo como lo describe Lawlor *et al.* (2000). Los resultados fueron expresados en mg de malonaldehído (MDA) por kg de carne. La descripción detallada del método se muestra en el Anexo 1.

j. Determinación del contenido de metamioglobina

Se empleó la metodología sugerida por Fernández-López *et al.* (2003) con algunas modificaciones. El resultado se expresó como porcentaje de metamioglobina, el cual se calcula en función al porcentaje total de pigmentos de la carne (mioglobina, metamioglobina y oximioglobina), usando la fórmula de Krzywicki (1979).

- Se picó finamente 5 gramos de carne con ayuda de un cuchillo.
- La carne se colocó en un vaso de licuadora y se le agregó 50 ml de buffer fosfato 0.04 M, pH 6.8 y 5 °C.
- Se licuó por 15 segundos.
- El homogenizado se centrifugó por 30 minutos a 9000 rpm y 5 °C.
- Se filtró el sobrenadante y con el líquido se midió la absorbancia en un espectrofotómetro a las longitudes de onda de 525, 572 y 730 nm.

- Las muestras se mantuvieron a 5 °C durante todo el procedimiento.
- La fórmula utilizada para calcular el porcentaje de metamioglobina (MMB) de las muestras fue la siguiente:

$$\text{MMB (\%)} = [1.395 - ((A_{572} - A_{730}) / (A_{525} - A_{730}))] * 100$$

Dónde:

A_{572} : Absorbancia a 572nm punto isobéptico (igual coeficiente de extinción molar) de la mioglobina y la oximioglobina.

A_{525} : Absorbancia a 525nm, punto isobéptico de la mioglobina, metamioglobina y la oximioglobina.

A_{730} : Absorbancia 730nm, punto acromático de la carne correspondiente a la incidencia de la luz.

k. Determinación instrumental de la dureza

Se determinó el valor de la dureza con el dispositivo Warner Bratzler del Analizador de textura Brookfield® CNS Farnell QTS-25. Se utilizó la metodología sugerida por Honikel (1998), la cual se detalla en el Anexo 2.

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para la obtención de las muestras de carne de llama, se siguió el flujo de operaciones presentado en la Figura 16, cuyas etapas se describen a continuación:

- **Recepción**

Se recibieron las carcasas de llama, provenientes de Marcapomacocha (Junín), a 24 horas *post-mortem* en el Centro de Ventas-UNALM, se pesaron y se realizó una inspección visual inicial.

- **Maduración**

Se colocaron las carcasas en una cámara de refrigeración a 4°C ±1°C durante 5 días.

- **Desposte**

Se hicieron los cortes de la carcasa de llama.

- **Selección**

Se seleccionó el músculo *Semimembranosus* y se eliminó todo exceso de grasa y tejido conectivo.

- **Pesado**

Se registró, con una balanza, el peso del músculo.

- **Marinado**

Se preparó una salmuera a base de cloruro de sodio, agua y tripolifosfato de sodio, formulada de tal manera que el músculo inyectado contenga 1.5 por ciento de cloruro de sodio y 0.3 por ciento de fosfato (según la fórmula indicada en página 68), variándose solo la cantidad de salmuera inyectada en la carne.

Se determinó 2 niveles de inyección de salmuera: uno medio (12 ± 1 por ciento) y uno alto (20 ± 4 por ciento). Se eligió un nivel medio ya que los porcentajes recomendados para aumentar la calidad organoléptica de la carne se encuentran entre 5 y 20 por ciento de inyección de salmuera. Y un nivel alto ya que normalmente la carne se marina hasta un 20 por ciento de inyección; además se quiso comprobar si la carne absorbe 4.5 gramos de agua por gramo de proteína como dice la teoría. Se evaluó las propiedades cuando la carne estaba a un nivel medio y en su máxima capacidad de absorción.

La salmuera se mantuvo a una temperatura de entre 4° y 5°C . Los músculos, que se mantuvieron entre 3° y 4°C , se inyectaron de forma manual con jeringas de 0.8 x 40mm.

Luego se colocaron en bolsas de polietileno de alta densidad, se envasaron al vacío y se almacenaron en refrigeración a $4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ por 24 horas.

- **Trozado**

Se dividieron los músculos *Semimembranosus* en filetes, estos tuvieron un peso entre 200 y 250 gramos, 7 a 9 cm de ancho, 9 a 13 cm de largo y 2.5 cm de grosor aproximadamente; la forma de los mismos se puede observar en la Figura 14. El corte de los filetes se hizo de forma perpendicular al eje de la fibra muscular para evaluar la resistencia de los mismos en los diversos tratamientos y ensayos a analizar.

- **Envasado**

Los filetes se envasaron en bolsas de polietileno de cierre deslizable para evitar pérdidas por evaporación y secado durante la congelación y descongelación.

- **Congelación**

Los filetes envasados se colocaron en una congeladora comercial, a una temperatura media de -21 ± 5 °C, hasta que la temperatura en el centro del filete (ver Figura 14) fue -20 °C.

- **Almacenamiento:**

Los filetes envasados y congelados se almacenaron en congelación a -21 ± 5 °C y 90-93 por ciento de humedad relativa, durante 30 días.

- **Descongelación**

Los filetes se descongelaron en una refrigeradora a 3 ± 2 °C hasta que alcanzaron una temperatura interna de 0 °C en el centro del filete (ver Figura 14).

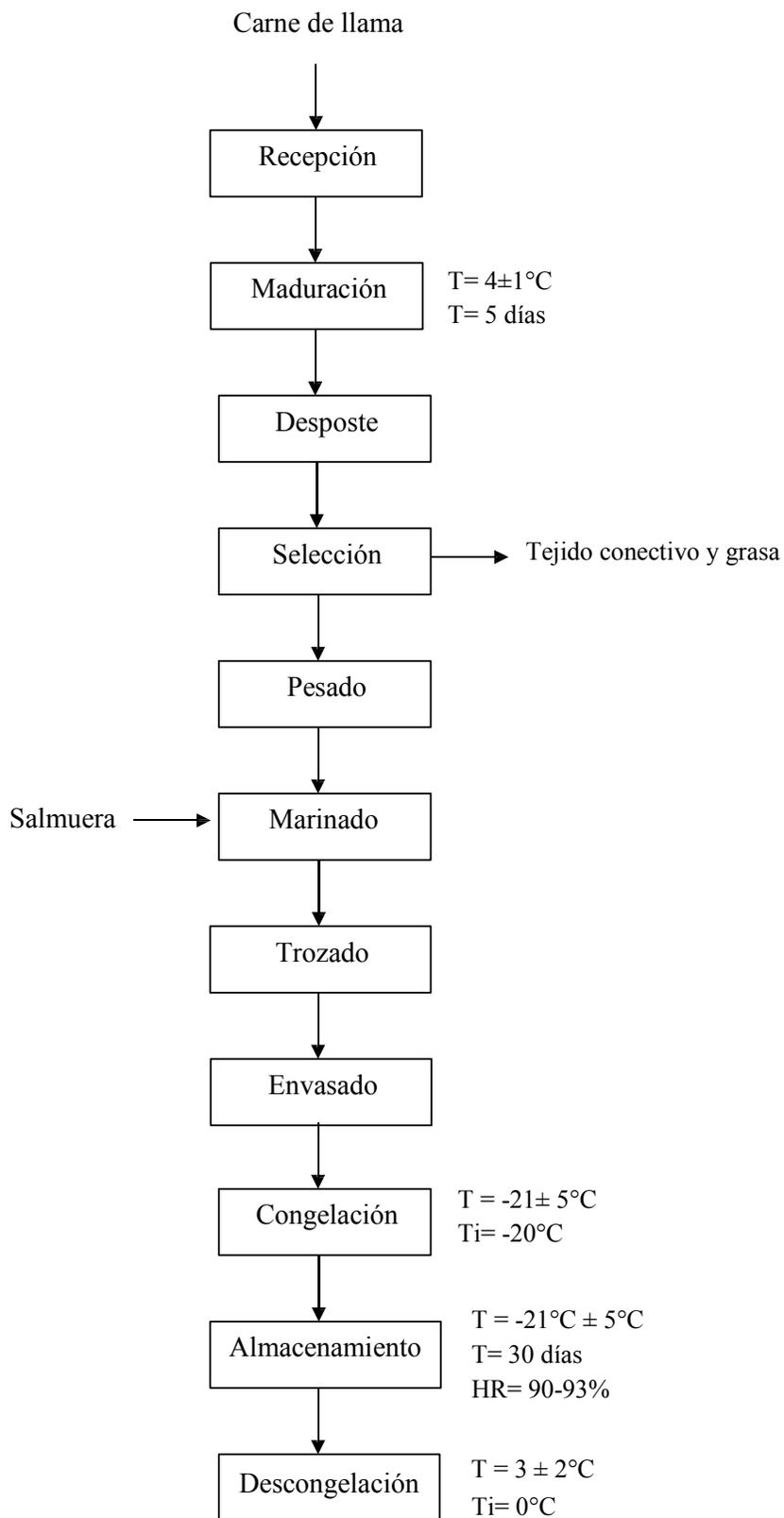


Figura 16: Flujo de operaciones para la obtención de carne de llama marinada congelada/almacenada/descongelada

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental de la presente investigación se muestra en el Cuadro 20 y consta de las siguientes etapas: (a) caracterización del músculo *Semimembranosus*, (b) inyección y marinado, (c) evaluación de la congelación y descongelación, (d) almacenamiento y (e) evaluación fisicoquímica, las cuales se explican a continuación.

3.6.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CARNE DE LLAMA

Se determinó la composición química proximal de la carne de llama (músculo *Semimembranosus*) por medio de los análisis de humedad, proteína bruta, extracto etéreo y cenizas. Además se determinó el pH, la capacidad de retención de agua (CRA), la pérdida por descongelación, la pérdida por cocción, la oxidación de lípidos (TBARS), el contenido de metamioglobina y la dureza de la carne de llama.

3.6.2. INYECCIÓN Y MARINADO DE LA CARNE DE LLAMA

Se realizaron 3 tratamientos, en los cuales se varió el porcentaje de inyección de salmuera pero no la concentración de sus ingredientes: 0 por ciento (T1), 12±1 por ciento (T2) y 20±4 por ciento (T3). Se preparó una salmuera que contenía agua, cloruro de sodio (NaCl) y tripolifosfato de sodio. La proporción de los ingredientes se determinó mediante la siguiente fórmula (UNAL, 2004), el porcentaje de cloruro de sodio y fosfato en el producto final (músculo *Semimembranosus*) fue de 1.5 por ciento y 0.3 por ciento respectivamente.

$$\frac{\% \text{ aditivo en el producto terminado} \times (100 + \% \text{ salmuera a inyectar})}{\% \text{ salmuera a inyectar}} = \% \text{ de ingrediente en la salmuera}$$

3.6.3. EVALUACIÓN DEL PROCESO DE CONGELACIÓN/DESCONGELACIÓN

Se realizó a través de la medición del tiempo que demora la temperatura interna de la muestra en llegar a -20°C (congelación) y 0°C (descongelación).

Las muestras se pesaron, se midieron sus dimensiones y se colocaron en bolsas de cierre deslizable.

Las bolsas se colocaron, una por una, en la congeladora y se les insertó un sensor de temperatura. Al finalizar la congelación, se almacenaron y luego se procedió a la descongelación en una refrigeradora de la misma forma.

3.6.4. ALMACENAMIENTO EN CONGELACIÓN

Las muestras fueron almacenadas en congelación a $-21 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y a una humedad relativa de 90 a 93 por ciento durante 30 días.

3.6.5. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA DE LA CARNE DE LLAMA DESCONGELADA

Las muestras almacenadas en congelación fueron retiradas al transcurrir 30 días y se procedió a la descongelación en refrigeración a $3 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Se realizaron las siguientes mediciones: humedad, pH, capacidad de retención de agua (CRA), pérdida por descongelación, pérdida por cocción, oxidación de lípidos (TBARS), contenido de metamioglobina, y dureza.

3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (D.C.A.), conocido también como diseño de clasificación de una vía (ANOVA *One Way*). Posteriormente, cuando la ANOVA arrojó una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos, se empleó un test de comparación de Dunnet para determinar la diferencia de los tratamientos 1, 2 y 3 con el tratamiento control (carne fresca). Se utilizó un nivel de significancia del 95 por ciento en ambos casos.

La ejecución del análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico *IBM SPSS Statistics*, versión 22, 2013.

Cuadro 20: Diseño experimental de la investigación

ETAPA	(A) CARACTERIZACIÓN DE LA CARNE (<i>SEMIMEMBRANOSUS</i>)	(B) INYECCIÓN Y MARINADO	(C) EVALUACIÓN DE LA CONGELACIÓN Y DESCONGELACIÓN	(D) ALMACENAMIENTO EN CONGELACIÓN	(E) EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA CARNE DESCONGELADA
TRATAMIENTO	<pre> graph LR A((Control (carne fresca))) --> B1[0%] A --> B2[12%] A --> B3[20%] B1 --> C1(()) B2 --> C2(()) B3 --> C3(()) C1 --> D1(()) C2 --> D2(()) C3 --> D3(()) D1 --> E1(()) D2 --> E2(()) D3 --> E3(()) </pre>				
ANÁLISIS	<ul style="list-style-type: none"> -Proximal - pH -CRA -Pérdida por cocción -TBARS -Metamioglobina -Dureza <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>Curvas de congelación</p> <p>Curvas de descongelación</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>- pH</p> <p>-Humedad</p> <p>-CRA</p> <p>-Pérdida por descongelación</p> <p>-Pérdida por cocción</p> <p>-TBARS</p> <p>-Metamioglobina</p> <p>-Dureza</p> </div> </div>				
PARÁMETRO	<p><u>Salmuera:</u> 1.5% cloruro de sodio en el producto final 0.3% de fosfato en el producto final</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 30%;"> <p>- T° congelación = -21°C±5°C</p> <p>- T° final filete congelado= -20°C</p> <p>- T° descongelación = 3°C±2°C</p> <p>- T° final filete descongelado= 0°C</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>T°= -21°C±5°C</p> <p>HR= 90-93%</p> <p>t= 30 días</p> </div> </div>				

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS PROXIMAL DE LA CARNE DE LLAMA

Se observa en el Cuadro 21 que el músculo *Semimembranosus* (*SM*) de llamas macho peruanas de raza Ccara de 18 a 24 meses de edad presenta como componentes mayoritarios el agua y la proteína, con valores promedio de 76.61 por ciento y 20.61 por ciento respectivamente; los componentes minoritarios son la grasa y las cenizas cuyos valores promedio son 1.54 por ciento y 1.24 por ciento respectivamente.

Cuadro 21: Composición química proximal del músculo *Semimembranosus* de llama

	Base húmeda			Base seca		
	Media	±	DE	Media	±	DE
Humedad (%)	76.61	±	0.08	-	±	-
Proteína (%)	20.61	±	0.15	88.10	±	0.65
Grasa (%)	1.54	±	0.01	6.60	±	0.02
Ceniza (%)	1.24	±	0.07	5.30	±	0.29

Los valores encontrados de grasa y ceniza en el presente estudio fueron muy similares a los observados por Mamani-Linares y Gallo (2011) en el músculo *Longissimus dorsi* (*LD*) de llamas macho chilenas de 2 y 4 dientes permanentes: 1.56 ± 0.67 por ciento y 1.21 ± 0.11 por ciento respectivamente. No obstante, Pérez *et al.* (2000) indican 8.0 ± 2.2 por ciento de grasa y 1.0 ± 0.1 por ciento de ceniza para llamas macho chilenas de 9 a 12 meses de edad; y Cristofanelli *et al.* (2004) reportan 0.51 ± 0.01 por ciento de grasa y 2.40 ± 0.25 por ciento de ceniza para músculo *Longissimus thoracis et lorum* (*LTL*) de llamas macho peruanas. 25 meses de edad.

El contenido de humedad presenta mayor diferencia en comparación a lo reportado en la literatura. Pérez *et al.* (2000), Cristofanelli *et al.* (2004) y Mamani-Linares y Gallo (2011)

reportan valores menores con respecto al hallado en este estudio, 71.9 ± 3.7 por ciento, 73.94 ± 1.87 por ciento y 73.34 ± 0.75 por ciento respectivamente.

Por otra parte, el contenido de proteína es similar al reportado por Pérez *et al.* (2000), 19.2 ± 2.0 por ciento, pero difiere de los valores obtenidos por Cristofanelli *et al.* (2004), 23.12 ± 0.88 por ciento y Mamani-Linares y Gallo (2011), 23.88 ± 0.77 por ciento.

La composición proximal obtenida en el presente estudio de la carne de llama puede compararse con otros tipos de carne, como se aprecia en el Cuadro 22. La carne de llama presenta un mayor contenido de humedad, un menor porcentaje de grasa y proteína, y un contenido de ceniza similar a los reportados para carne de alpaca, caballo y bovino.

Cuadro 22: Comparación de la composición proximal (valores medios) de las carnes de llama, alpaca, caballo y bovino.

	Llama (SM) Cuadro 21	Alpaca (LT) Salvá (2009)	Caballo (LD) Mamani-Linares y Gallo (2011)	Bovino (LD) Mamani-Linares y Gallo (2011)
Humedad (%)	76.61	74.07	72.41	73.72
Proteína (%)	20.61	22.69	21.41	22.46
Grasa (%)	1.54	2.05	3.80	2.27
Ceniza (%)	1.24	1.10	1.25	1.19

Las variaciones en la composición se deben a las diferencias en raza, edad, nutrición del animal y tipo de músculo utilizadas en las diferentes investigaciones citadas. En términos generales, los resultados indican que la carne de *Semimembranosus* (SM) de llama presenta un alto contenido de humedad y un bajo contenido de grasa.

4.2 EVALUACIÓN DE LA CONGELACIÓN Y DESCONGELACIÓN

4.2.1 EVALUACIÓN DE LA CONGELACIÓN

Las curvas de congelación se obtuvieron a partir del monitoreo de la temperatura en el centro de la muestra, la cual se observa en la Figura 17. Las curvas de congelación

obtenidas guardan similitud con la curva típica de congelación sin subenfriamiento descrita por Barreiro y Sandoval (2006), quienes afirman que este fenómeno no se presenta en todos los alimentos, observándose generalmente en alimentos basados en sistemas coloidales o líquidos muy viscosos.

En dichos perfiles, como menciona Ríos (1978), se pueden reconocer tres secciones claramente definidas: dos de descensos de temperatura, separadas por una planicie. La primera sección (precongelación) se sitúa por encima del punto de congelación, zona de extracción de calor sensible, el calor específico requerido es bajo debido a los rápidos cambios de temperatura por la ausencia del cambio de estado del agua del producto. La segunda sección (congelación), zona de extracción de calor latente, el calor específico requerido es alto debido a la imperceptible variación de temperatura que se produce por el cambio de estado del agua del producto. Y la tercera sección (enfriamiento), zonas de extracción de calores latente y sensible, el calor específico requerido es relativamente bajo debido al aumento de la concentración y al cambio de estado del agua del producto.

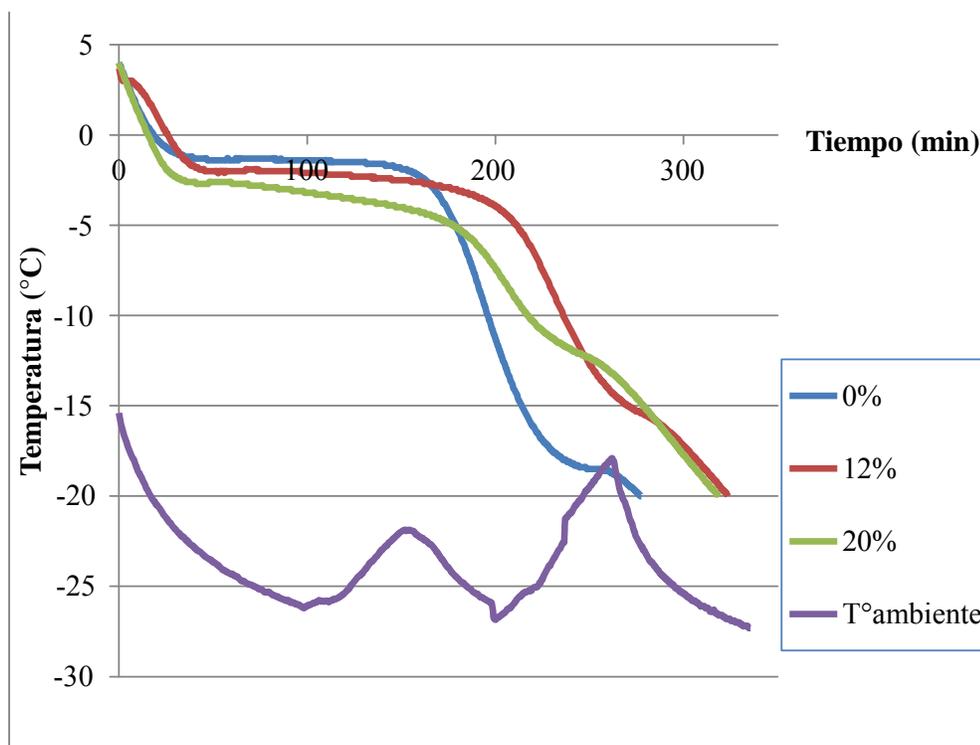


Figura 17: Curvas de congelación de los filetes de músculo *Semimembranosus llama* a diferentes porcentajes de inyección de salmuera.

Durante la fase de congelación, las proteínas de la carne sufren modificaciones. La fuerza iónica intracelular aumenta para la permitir la migración de agua fuera de la célula y la consecuente formación de los cristales de hielo; se rompen puentes salinos y de hidrogeno, ocasionando el despliega y exposición de las cadenas laterales de la proteína y esta se desnaturaliza (Vaclavik, 2002), perdiendo propiedades como la capacidad de retención de agua y la solubilidad.

También se observa en la Figura 17, el perfil promedio de temperatura del equipo de congelación: la temperatura demora en descender (a -26°C aproximadamente) y no se mantiene baja sino aumenta (a -23°C aproximadamente), disminuye y luego vuelve a ascender (a -18°C aproximadamente) y disminuye. Anderson *et al.* (2004) explican que esto depende de la velocidad de transferencia de calor del equipo. Cuando el sistema de congelación es más rápido, la temperatura desciende rápidamente, se mantiene baja y la gradiente de temperatura es mayor. Los perfiles que se observan (ver página 118) para la congeladora utilizada en la presente investigación, se asemejan al perfil reportado por dichos autores para un congelador con coeficiente de transferencia de calor de $9.06 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$; por otro lado, el pico más alto de temperatura pueden deberse a que se abrió momentáneamente la puerta del equipo durante una de las evaluaciones, sin que esto haya afectado a la congelación del producto ya que la temperatura solo subió a -18°C .

Mediante el análisis de las curvas se determinaron los puntos de congelación para cada tratamiento, los cuales se observan en el Cuadro 23.

Cuadro 23: Puntos de congelación de los filetes de músculo *Semimembranosus* de llama (Media \pm DE)

Porcentaje de inyección	Punto de congelación ($^{\circ}\text{C}$)
0	-1.38 ± 0.25
12	-2.25 ± 0.35
20	-3.02 ± 0.89

El tratamiento con menor punto de congelación correspondió al de 20 por ciento (-3.02°C), seguido por el de 12 por ciento (-2.25°C), y el que presentó un mayor valor (-1.38°C) fue el tratamiento que no contenía salmuera. La mayoría de alimentos tiene un punto de

congelación entre 0 y -3.9°C debido al alto contenido de humedad de estos (Machado-Velasco y Vélez-Ruiz, 2008). La carne, específicamente, tiene un punto inicial de congelación por debajo de 0°C (punto de congelación del agua pura) y depende del tipo y de la concentración de los solutos entre el agua/fase líquida del producto (IIR, 1972 citado por Farouk *et al.*, 2013).

Rahman (1995) menciona que el punto inicial de congelación está relacionado al contenido de humedad del alimento, ya que a medida que la humedad aumenta, el punto de congelación se acerca al del agua (0°C). Asimismo indica que este valor no es igual para todos los tipos de carne, como se puede observar en el Cuadro 24, y concuerda con lo dicho por Machado-Velasco y Vélez-Ruiz (2008), al afirmar que la depresión del punto de congelación depende del contenido de sólidos solubles, proteína, grasas y ceniza.

Cuadro 24: Punto inicial de congelación según el contenido de humedad de las carnes de llama, bovino, porcino y cordero.

	Llama	Bovino Rahman (1995)		Porcino Rahman (1995)		Cordero Rahman (1995)	
Humedad (%)	76.6	80.0	26.1	74.5	40.2	74.5	44.0
Punto inicial de congelación (°C)	-1.38	-0.63	-13.46	-0.90	-2.20	-0.60	-1.90

Por otra parte, en un estudio aplicado a la tilosa (sustancia compuesta por agua y una mezcla de metilcelulosa, cuyas características térmicas corresponden a los de la carne de vacuno magra con 74 por ciento de humedad), James *et al.* (2005) reportan que la depresión del punto de congelación depende de la concentración de sales, este aumenta de forma directamente proporcional con la concentración de cloruro de sodio en el alimento.

Erickson y Hung (1997) explican que durante la congelación, las proteínas están expuestas a aumentar la concentración de sales ya que las interacciones electrostáticas son una de las mayores fuerzas de mantenimiento de las proteínas terciarias y cuaternarias; un abrupto incremento de la fuerza iónica o la concentración de sales en la fase no congelada puede causar competencia con enlaces electrostáticos existentes, lo que a su vez ocasiona la modificación de la estructura nativa de las proteínas. Esto desencadena un mayor desorden

de las moléculas, se necesita más energía para lograr la congelación de las mismas y por consecuente se produce una depresión del punto de congelación del alimento, fenómeno que se observó en los tratamientos con inyección de salmuera.

El pH también está relacionado con el punto de congelación de la carne, este depende si la carne tiene un bajo pH (<5.8) o un alto pH (≥ 6.2). Para la carne de llama se obtuvo un pH promedio de 6.02 (ver Cuadro 28) pero solo se midió este parámetro para tratamiento de 0 por ciento de inyección y no se podría comparar con los demás antes de la congelación. De igual manera se menciona que el pH eleva el punto de congelación de la carne y esto podría deberse a que el pH de la carne tiene un efecto sobre la movilidad del agua, los pH altos reducen la movilidad de la carne y hace más fácil alinear, crear núcleos y cristalizar las moléculas de agua (Betram *et al.*, 2007 citado por Farouk *et al.*, 2013).

Además a partir de las curvas obtenidas experimentalmente se determinó el tiempo de congelación para cada tratamiento, los cuales se puede observar en el Cuadro 25. Este proceso se realizó con las muestras empacadas en bolsas de polietileno de cierre deslizante, las cuales añadieron una barrera a la transferencia de calor durante la congelación (Anderson *et al.*, 2004). Se observó que los filetes del tratamiento al 20 por ciento de inyección de salmuera requirieron mayor tiempo de congelación, seguidos por los de 12 por ciento y finalmente los de 0 por ciento; se puede afirmar que el tiempo de congelación aumenta de formar directamente proporcional con respecto al porcentaje de salmuera inyectada.

Cuadro 25: Tiempo para congelar de 4 °C a - 20 °C los filetes de músculo *Semimembranosus* de carne de llama (Media \pm DE)

Porcentaje de inyección	Tiempo de congelación (min)
0	237.83 \pm 37.48
12	295.50 \pm 39.60
20	325.83 \pm 15.37

Grugie *et al.* (1993) citado por Genot (2003) mencionan que el tiempo característico de congelación en el centro de los filetes de vacuno de 200 gramos aproximadamente y de un espesor de 2 cm es 142 minutos cuando la temperatura del congelador es de -20°C, como

en este caso. Asimismo, Anderson *et al.* (2004) reportan que filetes de vacuno de 220 gramos y 1 cm de espesor aproximadamente demoraron en promedio entre 220 y 270 minutos en llegar a una temperatura de -18°C .

Genot (2003) afirma que el tiempo de congelación depende de la cantidad total de calor a extraer, de la temperatura inicial y final, de las características del producto (composición, masa total y dimensiones), de su estructura, del embalaje y del método de enfriamiento. En la presente investigación se procuró que los filetes de cada tratamiento tengan las mismas características y se congelen en las mismas condiciones pero, como se mencionó anteriormente, cuando hay un incremento abrupto de la concentración de sales, se necesita más energía para lograr la congelación del alimento y ocasiona que el tiempo de congelación sea mayor.

Con respecto al tiempo de almacenamiento en congelación, los filetes de carne de llama se mantuvieron a $-21\pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 30 días; se eligió el tiempo de acuerdo a lo observado en otras investigaciones relacionadas al presente tema pero aplicadas en otros tipos de carnes. Por ejemplo, Leygonie *et al.* (2012b) hicieron una comparación entre la carne de avestruz fresca y la carne congelada/ descongelada y la almacenaron a -20°C durante 30 días. Pietrasik y Janz (2009) hicieron lo propio pero con carne de vacuno y los mantuvieron en congelación a -30°C durante 14 días. Teira *et al.* (2004) estudiaron las mermas por descongelación de filetes de pollo y almacenaron los filetes a $-25\pm 4^{\circ}\text{C}$ por 47 días. Y Zymon *et al.* (2007) evaluaron el efecto de la congelación y el almacenamiento congelado en el perfil de ácidos grasos en la carne de ternero almacenados a -18°C durante 120 días.

Hui *et al.* (2004) mencionan que el almacenamiento en congelación afecta el flavor, la textura, la apariencia, el color y las propiedades nutricionales. Esto ocurre como consecuencia del crecimiento de los cristales durante la congelación, por ejemplo el diámetro medio de los cristales que era $10\mu\text{m}$ en músculos de vacuno congelados y almacenados a -40°C llega a ser igual a $40\mu\text{m}$ después de 150 horas a -5°C ; y por las oscilaciones de la temperatura durante el almacenamiento que inducen a un proceso de descongelación-congelación de la carne (los pequeños cristales de hielo son más inestables que los grandes y cuando hay fluctuaciones de temperatura tienen a sufrir cambios metamórficos y se agregan a los cristales grandes). Los efectos de estos fenómenos en las

propiedades de la carne de llama son explicados en la Sección 4.3. de la presente investigación.

4.2.2 EVALUACIÓN DE LA DESCONGELACIÓN

Las curvas de descongelación se obtuvieron a partir del monitoreo de la temperatura en el centro de la muestra, la cual se observa en la Figura 18.

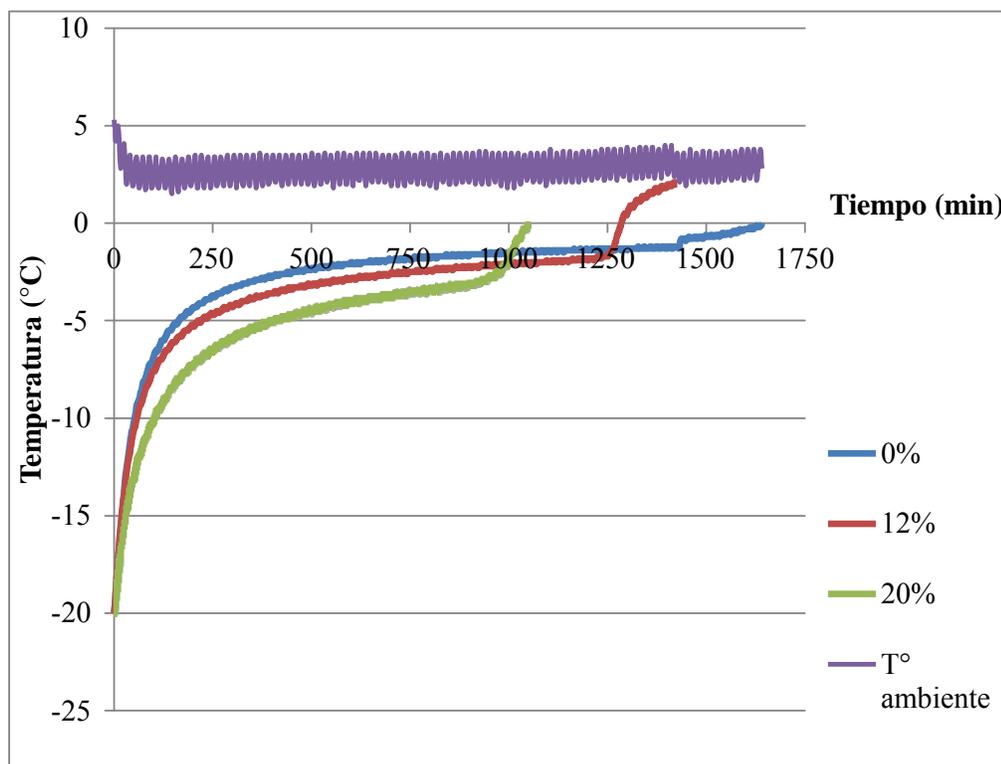


Figura 18: Curvas de descongelación de los filetes de músculo Semimembranosus de llama a diferentes porcentajes de inyección de salmuera.

Los perfiles obtenidos son similares al descrito por Barbut (2002). Se observan también tres secciones: dos ascensos de temperatura en los que se absorbe esencialmente calor sensible y están situados por debajo y por encima del punto de congelación, y que se encuentran separados por una planicie donde se absorbe esencialmente calor latente, situada al mismo nivel que el punto de congelación (Ríos, 1978).

Mediante el análisis de las curvas se determinaron los puntos de descongelación para cada tratamiento, los cuales se observan en el Cuadro 26.

Cuadro 26: Puntos de descongelación de los filetes de músculo *Semimembranosus* de llama (Media± DE).

Porcentaje de inyección	Punto de congelación (°C)
0	-1.07 ± 0.12
12	-1.80 ± 0.28
20	-2.20 ± 0.61

El tratamiento con menor punto de descongelación correspondió al tratamiento al 20 por ciento, con un valor de $-2.20 \pm 0.61^{\circ}\text{C}$, seguido por el de 12 por ciento, con $-1.80 \pm 0.28^{\circ}\text{C}$, y el que presentó el mayor valor ($-1.07 \pm 0.12^{\circ}\text{C}$) fue el tratamiento que no contenía salmuera. Se observó el mismo comportamiento que con los puntos de congelación.

Se asume, normalmente, que el valor del punto de congelación es el mismo que el de descongelación (James *et al.* 2005); afirmación que concuerda con lo declarado por Judge *et al.* (1989) citado por Uttaro y Aalhus (2007), que durante el proceso de descongelación, la carne se calienta rápidamente hasta llegar al punto de congelación y se mantiene ahí durante un tiempo relativamente largo, formando una meseta como se observa en las curvas de descongelación.

A partir de las curvas obtenidas experimentalmente se determinó el tiempo de descongelación para cada tratamiento, proceso que se realizó con las muestras empacadas en bolsas de polietileno de cierre deslizante, las cuales añadieron una barrera a la transferencia de calor durante la descongelación (Anderson *et al.*, 2004). En el tiempo de descongelación, que se observa en el Cuadro 27, ocurrió un efecto inverso al de congelación, ya que los filetes del tratamiento al 20 por ciento de inyección de salmuera requirieron menor tiempo de congelación, seguidos por los de 12 por ciento y finalmente los de 0 por ciento; siendo el porcentaje de inyección de salmuera inversamente proporcional al tiempo de descongelación.

Durante la descongelación es muy importante el espesor de la muestra, Ríos (1978) indica que el tiempo total de descongelación de filetes de carne de vacuna de 2.54 cm (1") de espesor es de 95 a 100% mayor con respecto a las muestras de 1.27 cm (0.5").

Molleda (2002) menciona que filetes de perico de 2.5cm de espesor que fueron descongelados a 15°C en refrigeración, demoraron 216 min medido desde -5.3 a 0.5°C.

Cuadro 27: Tiempo para descongelar de -20 °C a 0°C los filetes de músculo Semimembranosus de carne de llama (Media±DE)

Porcentaje de inyección	Tiempo de descongelación (min)
0	1589.00 ± 49.11
12	1204.00 ± 113.41
25	1140.00 ± 100.01

El tiempo de descongelación está influenciado por el aumento o disminución de la gradiente entre la temperatura inicial del producto y del medio descongelante, ya que las velocidades de descongelación se incrementan o decrecen, respectivamente. En el presente estudio la gradiente entre estas temperaturas es menor a las utilizadas en los estudios de Rios (1978) y Molleda (2002), lo que puede explicar el tiempo prolongado de descongelación. Por su parte, Molleda (2002) afirma que entre las temperaturas de -3.5 a -1.3°C, el tiempo de descongelación es más prologado que otra etapa ya que en este intervalo cambia de estado la mayor parte del agua congelada, requiriendo para ello mayor cantidad de calor. En este caso, el mayor tiempo se observa entre las temperaturas de -5 a -1°C (ver Figura 18). Cabe mencionar que se debe evitar este rango de temperaturas ya que Erickson y Hung (1997) reportan que los pequeños cristales de hielo tienden a sublimarse, recrystalizarse o agregarse a los grandes cristales de hielo debido a la diferencias en la energía de la superficie, causando daño en las fibras y acelerando la desnaturalización proteica.

4.3 CALIDAD FISICOQUÍMICA DE LA CARNE DE LLAMA MARINADA CONGELADA/ALMACENADA/DESCONGELADA

4.3.1 pH

El pH de los filetes congelados/almacenados/descongelados fue significativamente menor ($P<0.05$) en comparación a los filetes frescos. Los filetes con 20 por ciento de inyección

presentaron el menor pH (5.64), seguido por los de 0 por ciento de inyección (5.70) y finalmente el tratamiento de 12 por ciento (5.75) de inyección de salmuera (ver Cuadro28).

Cuadro 28: pH del músculo *Semimembranosus* de llama congelado/almacenado/ descongelado

Porcentaje de inyección	Media	±	DE
Control	6.02 ^a	±	0.03
0	5.70 ^b	±	0.10
12	5.75 ^b	±	0.03
20	5.64 ^b	±	0.00

^{a-b}: Valores promedio de cada tratamiento con letra diferente al control, presenta una diferencia significativa con respecto al mismo, según la prueba de Dunnett (P<0.05).

Mamani-Linares *et al.* (2013) reporta un pH de 5.28 ±0.05 para el músculo *Semimembranosus* (SM) de llamas criadas bajo un sistema extensivo y a las 24 horas de almacenamiento a 4°C, asimismo el pH entre los diferentes tipos de músculos es mínima y es menor a 5,8. Mamani-Linares y Gallo (2011) reportan un valor de 5.48 en *Longissimus luborum* (LL) de llama machos. Por su parte, Cristofanelli *et al.* (2004) mencionan que el *Longissimus Thoracis* (LT) tanto de carne de llama y alpaca presentan un pH entre 5.57 y 5.60 después de 24 horas del sacrificio, siendo este rango considerado como usual entre la mayoría de las carnes.

Tarrant y Grandin (1993) citados por Mamani-Linares *et al.* (2003) mencionan que el pH depende de factores como el estrés ante-mortem, factores genéticos, condiciones post-mortem, sexo, clase o categoría de animal, tipo de alimentación y la región anatómica que se mide. Cuando los cortes presentan promedios de pH mayores o iguales a 5.8, como ocurre en este caso del control, la carne presenta la condición conocida como “corte oscuro” que se da cuando el animal es sometido a estrés prolongado, consume sus reservas de glucógeno y no hay glicólisis anaeróbica post-mortem (Hood y Tarrant, 1980 citados por Mamani-Linares *et al.*, 2013). Según estudios similares realizados a carne de vacuno y cerdo (Smith *et al.*, 1984 y Robbins *et al.*, 2002 citados por Pietrasik y Janz, 2009), el pH de los filetes marinados debe ser mayor que los no marinados debido a la adición de fosfatos alcalinos en la salmuera; sin embargo, en el presente estudio ocurrió lo contrario.

Además, Pietrasik y Janz (2009) indican que en el caso de la carne de vacuno, los filetes al 20 por ciento de inyección muestran una tendencia de valores de pH más altos que los filetes al 12 por ciento, debido a la adición de más salmuera, a pesar que el contenido de fosfato fue constante.

De otra parte, la disminución del pH debido a la congelación y descongelación es probable que se dé como resultado de la pérdida de minerales y pequeños compuestos proteicos como exudados, cambiando así el balance iónico de la carne (Leygonie *et al.*, 2012b). El jugo celular contiene principalmente vitaminas del grupo B, proteínas sarcoplásmicas, aminopácidos libres, dipéptidos, bases nitrogenadas, nucleósidos y nucleótidos (Genot, 2003). Por otra parte, Baublits *et al.* (2006) citados por Pietrasik y Janz (2009) reportan que la disminución del pH tiene una relación lineal con el nivel de cloruro de sodio en el producto final, cuando este aumenta de 0.5 a 1.5 por ciento.

Además, Leygonie *et al.* (2012a) mencionan que como el pH es la medida de la cantidad de iones hidrógenos libres (H^+) en una solución, es posible que la congelación con subsecuente producción de exudado puede causar la desnaturalización de las proteínas buffer, la liberación de iones hidrógeno y la disminución del pH de la carne. La desnaturalización por congelación se da porque al formarse los cristales de hielo, el agua libre debe separarse de las proteínas, causando cambios en su capacidad de retención de agua y su solubilidad (Moreno, 2006). Vaclavik (2002) explica que la congelación causa la rotura de los puentes de hidrógeno y los puentes salinos; la proteína se despliega y las cadenas laterales que se encuentran escondidas en el centro de la molécula quedan expuestas. También, como se mencionó antes, la pérdida de fluido del tejido de la carne puede causar el incremento de la concentración de los solutos, el cual da como resultado la disminución del pH.

En el presente estudio, el nivel de cloruro de sodio (1.5 por ciento en el músculo *Semimembranosus* de llama) y la pérdida de minerales y proteínas pueden explicar la disminución del pH en las muestras sometidas a marinado/congelación/almacenado /descongelación. Los valores de pH obtenidos tanto para el control y los tratamientos se encuentran dentro del rango de 5.5 y 6.4 propuesto por la NTP 201-043 (INDECOPI, 2005) para carne de llama y alpaca.

4.3.2 HUMEDAD

Los tratamientos al 12 por ciento y 20 por ciento de inyección de salmuera tuvieron un contenido de humedad significativamente mayor ($P<0.05$) en comparación al tratamiento control, los resultados se observan en el Cuadro 29.

Cuadro 29: Humedad (%) del músculo Semimembranosus de llama congelado/almacenado/descongelado

Porcentaje de inyección	Media	±	DE
Control	76.48 ^a	±	0.11
0	75.65 ^b	±	0.27
12	78.10 ^b	±	0.18
20	79.24 ^b	±	0.26

^{a-b}: Valores promedio de cada tratamiento con letra diferente al control, presenta una diferencia significativa con respecto al mismo, según la prueba de Dunnett ($P<0.05$).

Los filetes de *Semimembranosus* inyectados al 20 por ciento tuvieron, un mayor contenido de humedad que los inyectados al 12 por ciento, debido a que se le agregó mayor cantidad de salmuera. Baublits *et al.* (2005) y Pietrasik y Janz (2009) reportan mayor porcentaje de humedad para músculos *semitendinosus* y *biceps femoris* de vacuno, respectivamente, inyectados con tripolifosfato de sodio y cloruro de sodio. Los filetes al 0 por ciento y sometidos a congelación, tienen menor humedad a causa de las pérdidas de agua durante la descongelación. Herrmann (1977) citado por Molleda (2002) considera que la pérdida por descongelación esta entre 4 y 10 por ciento de humedad, en este caso solo fue menor al uno por ciento.

Puolanne y Peltonen (2013) afirman que la interacción entre las proteínas y el agua tiene un efecto imponente en las propiedades de retención de agua. Las variables que tienen un mayor efecto e influyen en la interacción de las proteínas y el agua son el pH y la fuerza iónica. Esto, posiblemente, se basa en la repulsión electrostática de las cargas entre los filamentos o por los efectos osmóticos causados por la distribución desigual de los iones entre el retículo miofibrilar o por los enlaces puentes de hidrógeno. La acción de cloruro de sodio a nivel miofibrilar es que los iones cloruro se unen a los filamentos gruesos y

delgados, creando un área cubierta con cargas similares que alejan a las regiones adyacentes entre sí (repulsión electrostática) causando que la red de miofilamentos se expanda tanto como sea posible dentro de la restricción de los puentes cruzados de la actinmiosina y permitiendo que retenga agua. Asimismo, la mayoría de fosfatos utilizados en las salmueras tienen un pH superior al de la carne por lo que su introducción eleva el pH del medio, contribuyendo de esta manera a la retención de agua (Uttaro y Aalhus, 2007).

4.3.3 CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA (CRA)

En el Cuadro 30 se observa que no existe diferencia significativa ($P < 0.05$) entre el control y los tratamientos al 0 por ciento y 12 por ciento; sin embargo, el tratamiento al 20 por ciento es significativamente ($P < 0.05$) menor que los antes mencionados.

Cuadro 30: Capacidad de retención de agua (volumen absorbido (ml)/100 g de carne) del músculo *Semimembranosus* de llama congelado/almacenado/descongelado

Porcentaje de inyección	Media	±	DE
Control	49.87 ^a	±	1.79
0	43.99 ^a	±	4.64
12	45.49 ^a	±	4.74
20	20.44 ^b	±	5.60

^{a-b}: Valores promedio de cada tratamiento con letra diferente al control, presenta una diferencia significativa con respecto al mismo, según la prueba de Dunnett ($P < 0.05$).

Según lo observado, la CRA del *Semimembranosus* de llama es 49.87 ± 1.79 ml/100g de carne. Cristofanelli *et al.* (2004) reportan valores similares para el *Longissimus thoracis et lumborum* (LTL) de llama y alpaca de 49.78 ± 2.23 ml /100g de carne y 53.76 ± 4.11 ml/100g de carne respectivamente. Por otra parte, Mamani-Linares y Gallo (2011), utilizando el método de compresión de placas, mencionan que la CRA del músculo *Longissimus lumborum* (LT) de llama fue 17.65 ± 1.90 por ciento, siendo mayor que los encontrados para bovino (16.88 ± 2.74 por ciento) y caballo (16.55 ± 2.38 por ciento) pero menor que el reportado por Salvá *et al.* (2009) para carne de alpaca (26.41 por ciento).

Cristofanelli *et al.* (2004) indican que la CRA de la carne de llama es menor en comparación al de otras especies. En un estudio realizado por Asif *et al.* (2010), se reporta que la carne de cabra presenta un valor promedio de 62.7 ml por 100 g de carne. Sin embargo, Gheisari *et al.* (2009) reportan valores similares para carne de camello (41.77 ± 1.72) y vacuno (48.46 ± 2.31).

Existe evidencia en la literatura (Añon y Cavelo, 1980; Ngapo *et al.*, 1999 y Viera *et al.*, 2009 citados por Leygonie *et al.*, 2012a) que la congelación, el almacenamiento en congelación y la descongelación contribuyen a la disminución de la capacidad de retención de agua de la carne, como resultado del aflojamiento mecánico del tejido muscular por la formación de cristales de hielo (Gheisari *et al.*, 2009). No obstante, el presente estudio no encontró una diferencia significativa entre la carne fresca (control) y los tratamientos congelados, con excepción del tratamiento al 20 por ciento de inyección de salmuera.

Pietrasik y Janz (2009) mencionan, en el caso de filetes de vacuno congelados/descongelados y previamente inyectados con cloruro de sodio y fosfatos, que la mejor CRA se obtuvo en los filetes inyectados al 12 por ciento con 1.5 por ciento de cloruro de sodio y no se observaron diferencias significativas entre los músculos inyectados y no inyectados. Como se mencionó anteriormente, el tratamiento al 20 por ciento es el único distinto a los demás, esto se puede deber a que el porcentaje de inyección es tan elevado que las proteínas ya no son capaces de retener más fluido en comparación a los otros tratamientos; debido a que la red miofilamentos se expandió, reteniendo gran cantidad de salmuera al momento del marinado, por efecto del cloruro de sodio y los fosfatos añadidos en el mismo (Uttaro y Aalhus, 2007).

Por su parte, Leygonie *et al.* (2012a) mencionan que la pérdida de la capacidad de retención de agua está relacionada a la desorganización de la estructura de la fibra muscular, así como la modificación y/o desnaturalización de las proteínas. También cabe mencionar que este tratamiento presentó el menor valor de pH, siendo este más próximo al punto isoeléctrico donde solo los iones libres tienen la capacidad de traer agua y la CRA de la carne disminuye (Offer y Knight, 1980 citado por García, 2000). Cabe mencionar que el método de análisis empleado implica agregar una solución de cloruro de sodio y teniendo en cuenta que las muestras fueron marinadas con salmuera previamente de cloruro de sodio

y fosfatos, pudo no ser una metodología tan eficiente para determinar la CRA para todos los tratamientos, especialmente para el que tuvo mayor porcentaje de inyección de salmuera. Se recomienda utilizar otros métodos para observar si se obtienen resultados significativamente diferentes.

4.3.4 PÉRDIDA POR DESCONGELACIÓN

Los filetes con 12 por ciento y 20 por ciento de inyección de salmuera presentaron una pérdida por descongelación significativamente menor ($P < 0.05$) que los que no fueron inyectados (ver Cuadro 31).

El tratamiento al 0 por ciento de inyección perdió 4.82 ± 0.45 por ciento de peso durante la descongelación. Mamami-Linares *et al.* (2013) reportan que la pérdida por descongelación del músculo *Semimembranosus* (SM) de llama es 9.0 ± 2.0 por ciento, siendo parte de los músculos de llama que presentan mayores pérdidas de este tipo junto con *Longissimus lumborum*, *Gluteus medius*, *Adductor* y *Quadriceps femoris*.

Cuadro 31: Pérdida por descongelación (%) del músculo *Semimembranosus* de llama congelado/almacenado/descongelado

Porcentaje de inyección	Media	±	DE
0	4.82 ^a	±	0.45
12	2.39 ^b	±	0.41
20	2.24 ^b	±	0.23

^{a-b}: Valores promedio de cada tratamiento con letra diferente al control, presenta una diferencia significativa con respecto al mismo, según la prueba de Dunnett ($P < 0.05$).

Al comparar los resultados con el de otras especies, se observó que la carne de llama exuda más líquido durante la descongelación. Mamani-Linares y Gallo (2011) reportaron una pérdida de 7.46 ± 1.27 por ciento para músculo *Longissimus lumborum* (LT) de llama, el cual fue mayor que los observados para carne de caballo (5.65 ± 1.65 por ciento) y vacuno (5.77 ± 1.34 por ciento). Por otro lado, Leygonie *et al.* (2012b) reportan un valor de 5.09 ± 0.21 por ciento para *M. iliofibularis* de avestruz.

En el Cuadro 31 se observa que la adición de salmuera hace que la carne exuda la mitad del líquido en comparación a los filetes no inyectados, siendo el mejor tratamiento el de 20 por ciento de inyección ya que presentó la menor pérdida de exudado.

Pietrasik y Janz (2009) indican, que en el caso del músculo *biceps femoris* de vacuno, los filetes inyectados (12 y 20 por ciento de inyección) con cloruro de sodio (0.5 y 1.5 por ciento en el producto final) y fosfato (0.3 por ciento en el producto final) liberaron menos exudado que los no inyectados, con excepción de los filetes al 20 de inyección y 0.5 por ciento de cloruro de sodio. Asimismo afirma que la mejora de la retención de agua de las muestras marinadas con cloruro de sodio y fosfato se debe probablemente al efecto combinado de los cambios físicos de la estructura de las proteínas de la carne en presencia de los ingredientes de la salmuera y el pH elevado luego de la inyección.

Un factor importante es el método de descongelación de la carne. Leygonie *et al.* (2012a) mencionan que existen diferentes opiniones sobre la correlación entre la tasa de descongelación y el grado de formación de exudado. Gonzalez-Sanguinetti *et al.* (1985) citados por Leygonie *et al.* (2012a) sugieren que si la tasa en la que el agua se encuentra disponible supera la velocidad a la que las fibras pueden reabsorber agua, el agua se liberará en forma de exudado.

Por su parte, Molleda (2002) comenta que al haber una menor gradiente de temperatura entre el medio congelante y el producto frío, se produce menor porcentaje de exudado libre pero se requiere mayor tiempo de descongelación. Theodorakakos *et al.* (1994) citados por Leygonie *et al.* (2012a) reportan que la descongelación refrigerada (28 horas) genera la mayor pérdida de exudado, en comparación a la descongelación en microondas (35 minutos hasta alcanzar 0°C), a temperatura ambiente (5-7 horas) e inmersión en agua (hasta llegar a 0°C en el centro de producto).

4.3.5 PÉRDIDA POR COCCIÓN

El tratamiento control presenta una pérdida por cocción significativamente mayor ($P < 0.05$) que los tratamientos al 12 por ciento y 20 por ciento, sin embargo, no muestra diferencias significativas ($P < 0.05$) con el tratamiento sin inyección, como se observa en el Cuadro 32.

Cuadro 32: Pérdida por cocción (%) del músculo *Semimembranosus* de llama congelado/almacenado/descongelado.

Porcentaje de inyección	Media	±	DE
Control	37.69 ^a	±	2.54
0	37.83 ^a	±	2.95
12	18.59 ^b	±	2.47
20	22.48 ^b	±	2.71

^{a-b}: Valores promedio de cada tratamiento con letra diferente al control, presenta una diferencia significativa con respecto al mismo, según la prueba de Dunnett (P<0.05).

Efectivamente Leygonie *et al.* (2012a) reporta que la pérdida de humedad debido a la cocción no difiere significativamente entre carne fresca y carne congelada. Por ejemplo, en el caso de *M.iliofibularis* de avestruz, la pérdida por cocción no se ve afectada por la congelación/descongelación, ya que el agua que se origina durante la cocción es mayormente agua químicamente ligada (± 10 por ciento del fluido total) y porque la fusión de la grasa no es afectada por la congelación/descongelación (Viera *et al.*, 2009 citado por Leygonie *et al.*, 2012b).

Mamani-Linares *et al.* (2013) reportan que la pérdida por cocción del *Semimembranosus* de carne de llama fue 20.0 ± 1.4 por ciento, siendo parte del grupo de músculos que mayor pérdida de fluido presenta. Por su parte, Mamani-Linares y Gallo (2011) reportan que el *Longissimus lumborum* es de 17.52 ± 1.96 por ciento siendo menor que la carne de bovino (18.36 ± 2.05 por ciento) y de caballo (18.94 ± 1.94 por ciento). Valores más cercanos son reportados por Kadim *et al.* (2008) para *LT* de camello (26.1 ± 1.06 por ciento) y vacuno (31.2 ± 1.10 por ciento). Los valores de pérdida por cocción reportados en la presente investigación se encuentran dentro rango de pérdida general esperado para carnes en general (20-40 por ciento) mencionado por Cole y Lawrie (1975) citado por Chacón (2005).

Con respecto a los tratamientos a los que se les inyectó salmuera, se observó una menor pérdida para el tratamiento al 12 por ciento que el de 20 por ciento, aunque la diferencia no es tan amplia (3.89 por ciento). Pietrasik y Janz (2009) reportan el mismo comportamiento para carne de vacuno, la menor pérdida por cocción se dio en los filetes inyectados al

12 por ciento con 1.5 por ciento de cloruro de sodio, seguido por los filetes al 20 por ciento y 1.5 por ciento de cloruro de sodio. La menor pérdida por cocción asociada a la adición de cloruro de sodio se debe mayormente al incremento de la fuerza iónica, se forma una matriz más estable que produce menor liberación de agua, mejorando las propiedades de ligazón del agua. (Trout y Schmidt, 1986 citado por Pietrasik y Janz, 2009).

Por su parte, Desrosier (1983) citado por Molleda (2002) afirma que este resultado está influenciado por los cambios de solubilidad de las proteínas durante la congelación, el almacenamiento y la descongelación. La estabilidad de la estructura tridimensional de las moléculas de proteína depende de los puentes de hidrógenos estabilizados por las moléculas de agua. Durante la congelación, la migración de las moléculas de agua para formar cristales de hielo se traduce en una alteración del sistema de puentes de hidrógeno así como a la exposición de regiones de la superficie de las moléculas de proteína entre las que podrían tener lugar interacciones hidrofóbicas-hidrofóbicas e hidrofílicas-hidrofílicas dentro de esta molécula causando alteración de su estructura o entre moléculas de proteína adyacentes, causando agregación, deshidratación y concentración de solutos (García, 1998).

4.3.6 SUSTANCIAS REACTIVAS AL ÁCIDO 2-TIOBARBITÚRICO (TBARS)

No se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre el control y los tratamientos al 0 por ciento y 12 por ciento, sin embargo, sí con el tratamiento al 20 por ciento (ver Cuadro 33).

El valor promedio de MDA (0.37 ± 0.03 mg/kg de carne) del *Semimembranosus* de llama fue similar al reportado por Saavedra (2013) para *Longissimus thoracis et lumborum* de alpaca (0.31 mg MDA/kg de carne), pero fue mayor a los valores reportados por Medina (2014) para *Longissimus thoracis et lumborum* de alpaca (0.06 mg de MDA/kg de carne) y por Abd Alla (2008) para carne de dromedario (0.1 mg MDA/kg de carne). Palma (2009) menciona que valores de TBA por encima de 0.60 pueden ser reconocidos por consumidores inexpertos y valores por encima de 2.00 se consideran rancios e inaceptables para el consumidor, por lo que la carne de llama analizada no presentaba rancidez.

Cuadro 33: TBARS (mg MDA/kg de carne) en el músculo *Semimembranosus* de llama congelado/almacenado/descongelado

Porcentaje de inyección	Media	±	DE
Control	0.37 ^a	±	0.03
0	0.35 ^a	±	0.02
12	0.41 ^a	±	0.03
20	0.44 ^b	±	0.03

^{a-b}: Valores promedio de cada tratamiento con letra diferente al control, presenta una diferencia significativa con respecto al mismo, según la prueba de Dunnett (P<0.05).

La congelación y la descongelación no tuvo un efecto significativo (P<0.05) en el contenido de MDA del *Semimembranosus* de llama, se esperaba este resultado ya que la oxidación de lípidos aparece a partir de los tres meses en congelación y depende de la temperatura y del tipo de carne (Hui *et al.*, 2004). Esto concuerda con lo reportado por Leygonie *et al.* (2012b), los cuales comentan que no se encuentran diferencias significativas entre la carne fresca (1.76±0.03 mg MDA/kg de carne) y la carne almacenada en congelación por un mes e inmediatamente descongelada (1.74±0.08 mg MDA/kg de carne) de *M. iliofibularis* de avestruz.

Sin embargo, existe información contradictoria con respecto a la relación entre el tiempo de almacenamiento y la oxidación de lípidos. Huffman *et al.* (1981) citado por Bess (2011) evaluaron chuletas de cerdo reestructuradas de jamones y colillas bajo almacenamiento en congelación (-15°C), al día cero tuvo 0.18 mg de MDA/kg de carne y 0.26 mg de MDA/kg de carne a los 30 días. Sin embargo Rhee *et al.* (1983), citado por el mismo autor, mencionan que la carne molida almacenada en congelación tuvo 2.46 mg de MDA/ kg de carne al día cero y a los 60 días el contenido de MDA no varió considerablemente (2.58 mg de MDA/kg de carne). Por su parte, Berardinis *et al.* (2012) reportan que muestras de lomo de atún empacadas y luego congeladas a -20°C alcanzaron a los 30 días el 50% del contenido de MDA encontrado a los 90 días (0.49±0.01 mg MDA/kg de carne).

Durante el almacenamiento en congelación a -20°C, una porción de agua no se congela y queda disponible para reacciones químicas. En general, la oxidación de lípidos incrementa rápidamente luego de la descongelación ya que la peroxidación ocurre durante el

almacenamiento congelado, dando lugar a una rápida y severa oxidación secundaria (Owen y Lawrie, 1975 citado por Leygonie *et al.*, 2012b). Asimismo, Gray *et al.* (1996 y Limbo *et al.* (2010) citado por Kolsarici *et al.* (2010) afirman que la ruptura de las membranas musculares favorece la oxidación de ácidos grasos insaturados, dando como resultado la formación y propagación de reacciones de oxidación.

Además es importante mencionar que el cloruro de sodio, a diferentes niveles, puede actuar como prooxidante. Anderson y Skibsted (1991) citado por Bess (2011) encontraron que el cloruro de sodio actúa como un prooxidante en un nivel de inclusión de uno por ciento en hamburguesas de carne de cerdo. Asimismo, King y Bosch (1990) citado por Bess (2011) reportan que el cloruro de sodio a un nivel de inclusión de dos por ciento era más prooxidante comparado al cloruro de potasio en hamburguesas de carne de pato. Esto podría explicar la diferencia significativa ($P<0.05$) entre el control y tratamiento al 25 por ciento de inyección de salmuera, aunque la diferencia es solo de 0.07 mg MDA/kg de carne.

4.3.7 METAMIOGLOBINA

El porcentaje de metmioglobina se calculó en función al porcentaje total de pigmentos de la carne (mioglobina, metamioglobina y oximioglobina). Se observaron diferencias significativas ($P<0.05$) entre el control y los demás tratamientos. El porcentaje de metamioglobina incrementó luego de la congelación/almacenamiento/ descongelación (ver Cuadro 34) en todos los casos, siendo mayor en los filetes al 20 por ciento, seguido de los de 12 por ciento y finalmente los de 0 por ciento.

Varnan y Sutherland (1998) citado por Perazzini (2006) señalan que los pigmentos de la carne congelada son los mismos que la carne fresca; siendo la metamioglobina la forma más frecuente que hace que la carne congelada tenga un color oscuro. Medina (2014) menciona que el *LTL* de alpaca presenta 17.46 ± 1.28 por ciento de metamioglobina y luego de estar en congelación y almacenamiento a -20°C durante un mes, el porcentaje aumentó a 22.69 ± 1.16 por ciento.

En el caso de otras especies, Chow *et al.* (1988) reportan que la decoloración de la carne de atún avanza constantemente durante el almacenamiento a -20°C y se acelera durante el

almacenamiento en hielo luego de la descongelación; la carne de alce en refrigeración a $3\pm 1^{\circ}\text{C}$ puede llegar a presentar un 70% de metamioglobina al quinto día de almacenamiento (Dhanda *et al.*, 2003).

Cuadro 34: Contenido (%) de metamioglobina en el músculo *Semimembranosus* de llama congelado/almacenado/descongelado

Porcentaje de inyección	Media	±	DE
Control	10.32 ^a	±	2.30
0	35.40 ^b	±	3.59
12	56.36 ^b	±	2.25
20	63.04 ^b	±	6.36

^{a-b}: Valores promedio de cada tratamiento con letra diferente al control, presenta una diferencia significativa con respecto al mismo, según la prueba de Dunnett ($P < 0.05$).

En algún momento durante la congelación, el almacenamiento en congelación y descongelación, se produce la desnaturalización de la fracción globina y como consecuencia un aumento de la susceptibilidad de la mioglobina a autooxidarse a metamioglobina, y la posterior pérdida de color óptimo de presentación (Calvelo, 1981 citado por Leygonie *et al.*, 2012a).

El color de la carne es muy importante para que el consumidor decida comprar o no el producto. Greene *et al.* (1971) informaron que los consumidores empezarían a rechazar la carne de res que contenga entre 30 y 40 por ciento de metamioglobina. Sin embargo, Renner y Mazuel (1985) señalan solo un 20 por ciento como criterio de rechazo por parte de los consumidores. Según los resultados obtenidos, los filetes sin inyección de salmuera serían rechazados por el consumidor ya que presentaron un 35.40 ± 3.59 por ciento de metamioglobina.

Los altos valores de metamioglobina encontrados para los filetes inyectados al 12 por ciento (56.36 ± 2.25 por ciento) y 20 por ciento (63.04 ± 6.36 por ciento) se pueden deber a la adición de la salmuera. Baublits *et al.* (2006) mencionan que la disminución del enrojecimiento se debe al aumento de la capacidad de retención de agua por acción de la alta concentración de cloruro de sodio.

El incremento de la capacidad de retención de agua puede haber ocasionado la disminución del nivel de oxigenación de la carne y/o la presencia de mayor cantidad de moléculas de agua alrededor de la mioglobina que impiden la entrada de oxígeno al músculo y la posterior formación de oximioglobina; permitiendo así una mayor proporción de desoximioglobina (forma de la mioglobina que no está unida a una molécula de oxígeno, pigmento de color rojo púrpura). Además, Trout y Schimdt (1987) citado por Pietrasik y Sanz (2009) indican que el cloruro de sodio puede promover las reacciones de oxidación y se ha visto que causan la oxidación de mioglobina.

Por otra parte, la congelación y descongelación también puede alterar el color de la carne. Boles y Swan (2002) reportan una disminución del enrojecimiento después de la congelación del músculo *SM* de ganado vacuno Brahman, pero no observó el mismo efecto en el caso de toros y novillos. Asimismo, Chow *et al.* (1988) reportan que la carne de atún congelada/descongelada se decolora más rápido que la fresca, siendo la temperatura de congelación un factor que influye en la tasa de decoloración después de la congelación.

Es importante resaltar que es normal que la formación de metamioglobina incremente mientras que las proporciones de oximioglobina y desoximioglobina disminuyen con el tiempo de almacenamiento (Dhanda *et al.*, 2003). No obstante, la velocidad de decoloración podría disminuir si la carne se almacena a temperaturas suficientemente bajas (por ejemplo a -30°C) y si se controlan factores como el pH ya que la formación de metamioglobina es mínima entre 5,6 y 6,3. En este caso, los pH obtenidos en todos los tratamientos se encuentra dentro del rango mencionado (ver Cuadro 28) pero la cantidad de metamioglobina formada no es mínima, esta aumenta con el porcentaje de salmuera inyectado.

4.3.8 DUREZA

La congelación, el almacenamiento y la descongelación provocó una disminución del valor de dureza del *Semimembraosus* de llama para los tres tratamientos, los cuales fueron significativamente ($P < 0.05$) menores en comparación al tratamiento control y presentaron valores similares como se puede observar en el Cuadro 35. Además la carne fresca de

Semimembranosus de llama presentó un valor de dureza de 59.34±6.70N, valor que la señala como una carne “dura” según la clasificación elaborada por Belew *et al.* (2003).

Cuadro 35: Dureza (N) en el músculo *Semimembranosus* de llama congelado/almacenado/descongelado

Porcentaje de inyección	Media	±	DE
Control	59.34 ^a	±	6,70
0	36.91 ^b	±	2,59
12	37,63 ^b	±	6,48
25	34,92 ^b	±	7,84

^{a-b}: Valores promedio de cada tratamiento con letra diferente al control, presenta una diferencia significativa con respecto al mismo, según la prueba de Dunnett (P<0.05).

Como se puede observar en la Figura 19 en comparación a otras carnes, el músculo *Semimembranosus* (SM) de llama presentó menor dureza que los valores reportados por Medina (2014) y Saavedra (2013) para *Longissimus thoracis et lumborum* (LTL) de alpaca, 66 N y 68 N respectivamente; pero el valor obtenido es mayor al reportado por Salvá (2009) para carne de alpaca (45.80 N). Por su parte, Velazco (1999) citado por González (2003) indica que el músculo *Semimembranosus* de bovino presenta una dureza de 53.05 N, valor cercano al obtenido para el *Semimembranosus* de llama.

La congelación provocó la disminución de la dureza de la carne de llama. Hiner *et al.* (1945) citado por Pietrasik y Janz (2009) afirman que la congelación mejora la ternura (son menos duras) de la carne vacuno y que esa mejora era consecuencia directa de la ruptura física de las células musculares, causada por la formación intracelular de cristales de hielo.

Por ejemplo, las costillas y lomo de cerdo son ligeramente más tiernas y jugosas cuando la carne se congela, se conserva en ese estado y se descongela, que cuando la carne se prepara fresca, ya que la carne congelada pierde cohesión y será más fácil de masticar (Jeremiah *et al.*, 1990 citado por Genot, 2003). Por su parte, Moreno *et al.* (2007) citado por Pietrasik y Janz (2009) sugieren que el efecto favorable de la formación de hielo en la ternura de la carne de vacuno congelada/descongelada podría ser compensado por el fluido liberado durante el periodo de descongelación. Los valores promedio de dureza de los tratamientos sometidos a congelación son cercanos, no obstante la desviación estándar es alta en los

tratamientos al 12 y 20 por ciento. En filetes de vacuno sometidos a los mismos tratamientos, tampoco se observaron diferencias significativas entre los filetes congelados/descongelados a pesar de la adición de cloruro de sodio y fosfatos (Pietrasik y Janz, 2009).

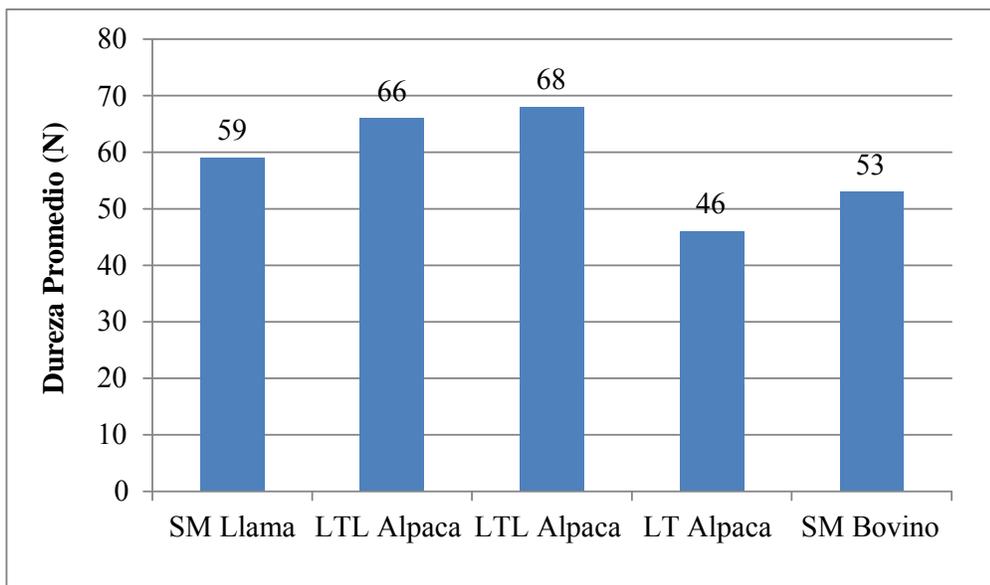


Figura 19: Comparación de la dureza de la carne de llama, alpaca y bovino.

Baublits *et al.* (2005) reportan que no hay diferencias significativas en los valores de fuerza de corte entre filetes de *bíceps femoris* que fueron mejorados con cloruro de sodio y variando los tipos de fosfato. Sin embargo, Vote *et al.* (2000) citado por Dhanda *et al.* (2003) afirman que la inyección de soluciones de fosfato/lactato/cloruro produce efectos benéficos en la terneza de tiras de lomo de ternera en comparación a las muestras control.

Por su parte, Peña *et al.* (2012) mencionan que el marinado (con cloruro de sodio y polifosfatos) disminuye la dureza de la carne de cabra; esto debió a un debilitamiento estructural de las miofibrillas, ya que fue acompañado por un proceso de masajeo, y al ingreso de la salmuera al tejido. En el caso de utilizar cloruros (sodio o calcio) en el marinado, el que tendrá mayor efecto sobre la textura de la carne es el cloruro de calcio. González Tenorio *et al.* (2004) reportan que el cloruro de calcio tuvo un efecto significativo sobre la activación de enzimas proteolíticas capaces de degradar tejido miofibrilar, sobre todo las enzimas dependientes del calcio, esto es, las calpainas.

Cabe resaltar que los cambios en la dureza también se verán influenciados por la especie, el pH y el tiempo de maduración. Steen *et al.* (1995) citado por González (2003) reportan que el ablandamiento a pH altos es el resultado del incremento en la actividad proteolítica, el incremento de la CRA y la reducción de pérdidas por cocción. Además, Shanks *et al.* (2002) citado por Pietrasik y Janz (2009) mencionan que las diferencias de terneza entre la carne fresca y congelada eran mayores a periodos de cortos de maduración que en periodos largos.

V. CONCLUSIONES

1. El tiempo de congelación y el punto de congelación de los filetes de músculo *Semimembranosus* de llama varían en función al porcentaje de inyección de salmuera; siendo mayor el tiempo y la depresión del punto de congelación a medida que la cantidad de salmuera inyectada aumenta.
2. El tiempo de descongelación y el punto de descongelación de los filetes de *Semimembranosus* de llama también varían en función al porcentaje de inyección de salmuera; el tiempo disminuye a medida que el porcentaje de salmuera inyectada aumenta pero ocurre lo contrario con la depresión del punto de congelación.
3. La congelación y descongelación produce un descenso del pH de la carne de llama, la disminución es mayor en el tratamiento con mayor porcentaje de inyección de salmuera.
4. El contenido de humedad disminuyó luego de la congelación y descongelación en el tratamiento al 0 por ciento de inyección de salmuera; sin embargo, fue mayor en los tratamientos al 12 por ciento y 20 por ciento de inyección de salmuera.
5. La capacidad de retención de agua de la carne de llama no varía después de la congelación y descongelación en los tratamientos al 0 por ciento y 12 por ciento pero disminuyó drásticamente en el tratamiento al 20 por ciento.
6. La pérdida por descongelación disminuyó en los tratamientos que recibieron inyección de salmuera, siendo aproximadamente la mitad en ambos tratamientos en comparación al tratamiento al 0 por ciento de inyección.

7. La pérdida por cocción no se varió luego la congelación y posterior descongelación de la carne de llama, sin embargo, su valor disminuyó en 50 por ciento para los tratamientos con inyección de salmuera al 12 y 20 porciento.
8. El almacenamiento en congelación por un mes y la posterior descongelación de la carne de llama, no provocó la oxidación de lípidos.
9. La congelación y la descongelación afecto notoriamente el aspecto de la carne de llama ya que el contenido de metamioglobina aumento en más del 50 por ciento, presentando valores mayores en los tratamientos con inyección de salmuera.
10. La dureza de la carne disminuye luego de la congelación y posterior descongelación. La inyección de salmuera no tuvo un efecto significativo para este parámetro.

VI. RECOMENDACIONES

1. Complementar la presente investigación con un análisis sensorial para obtener un conocimiento más completo del comportamiento de la carne de llama sometida a congelación y descongelación.
2. Ejecutar un estudio sobre el tiempo de vida útil de la carne de llama en congelación.
3. Evaluar otros métodos de mitigación (congelación a altas presiones, proteínas anticongelantes, suplementación con vitamina E y envasado en atmósfera modificada) de los efectos de la congelación y descongelación en la calidad de la carne de llama.
4. Realizar un estudio comparativo del efecto de otros métodos de congelación y descongelación en las características fisicoquímicas de la carne de llama.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD ALLA, D. 2008. The effects of preservation periods on meat characteristics of camel and cattle. *Research Journal of Biological Sciences* 3(6): 616-619.

ALARCÓN, R.; RIVERA, J.; SERRANO, A.; DE PABLO, M.; OCHOA, O.; SILVA, L.; ZAMORANO, G. 2006. *Pinches del Servicio Gallego de Salud: temario, test y supuestos prácticos*. Sevilla, ES, MAD S.L. 522p.

AMERLING, C. 2001. *Tecnología de la carne: antología*. Madrid, ES, EUNED.308 p.

ANDERSON, B.; SUN, S.; ERDOGDU, F.; SINGH, P. 2004. Thawing and freezing of selected meat products in household refrigerators. *International Journal of Refrigeration* 27 (1): 63-72.

ASIF, M.; KHASKHELI, M.; RAJPUT, I. R.; RAO, S.; FARAZ, S. 2010. Examination of physical properties of goat meat. *Pakistan Journal of Nutrition* 9 (5): 422-425.

ASPÉ, E.; ROECKEL, M.; MARTI, C.; JIMÉNEZ, R. 2008. Envasado de Carne de Vacuno con Hueso y Grasa en Atmósfera Modificada con CO₂ y CO. *Información Tecnológica* 19 (6): 57-69.

BARBUT, S. 2002. *Poultry Products Processing: an industry guide*. Florida, US, CRC Press LLC. 550p.

BARREIRO, J.; SANDOVAL, A. 2006. *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas*. Caracas, VE, Equinoccio. 365p.

BAUBLITS, R.; POHLMAN, F.; BROWN, A.; YANCEY, E.; JOHNSON, Z. 2006. Impact of muscle type and sodium chloride concentration on the quality, sensory and instrumental color characteristics of solution enhanced whole-muscle beef. *Meat Science* 72 (1): 704-712.

BELEW, J.; BROOKS, J.; McKENNA, D.; SAVELL, J. 2003. Warner-Blatzler shear evaluations of 40 bovine muscles. *Meat Science* 64 (4): 507-512.

BERARDINIS, R.; MEDINA, M.; BARRERO, M. 2012. Estabilidad química, física y microbiológica de lomo de atún (*Thunnus sp.*) rebanado, empacado, congelado y almacenado a -20°C. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 3 (2): 177-201.

BESS, K. 2011. Effects of various salt purity levels on lipid oxidation and sensory characteristics of ground turkey and pork. Thesis (Master of Science). Illinois, US, University of Illinois. 41p.

BOLES, J.; SWAN, J. 2002. Meat and storage effects on processing characteristics of beef roasts. *Meat Science* 62: 121-127.

BRAVO, H. 2008. Estudio sobre las propiedades organolépticas de la carne de llama y su aplicación en la gastronomía como sustituto de la carne roja (en línea). Quito, EC, Universidad Tecnológica Equinoccial. Consultado 27 ago. 2013. Disponible en http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/9737/1/34180_1.pdf

BRAVO, P.; HUANCA, W. 2012. Aspectos técnicos, culturales y científicos de la crianza de llamas y alpacas en Sudamérica. Arica, CL, VI Congreso de Camélidos Sudamericanos.

CANO-MUÑOZ, G. Manual on meat cold store operation and management. Roma, IT, FAO. 123p.

CARAVACA, F.; CASTEL, J.; GUZMÁN, J.; DELGADO, M.; MENA, Y.; ALCALDE, M.; GONZÁLEZ, P. 2003. Bases de la producción animal. Sevilla, ES, Servicio de publicaciones de la Universidad de Huelva. 517p.

CÁRDENAS, M.; ENCINA, G. 2008. Guía Metodológica para la Investigación Escolar del Proyecto “Gestión Sustentable de Bofedales del Salar del Huasco” (en línea). Santiago, CL, Centro de Estudios para el Desarrollo. Consultado 3 set. 2013. Disponible en http://www.ceh.cl/wp-content/uploads/2008/12/Guia_Metodologica_Bofedales.pdf

CHACÓN, A. 2005. Efecto de la maduración, cocción y congelamiento sobre la suavidad, rendimiento y carga microbiana del corte de solomo (outside). Agronomía Mesoamericana 16 (2): 199-213.

CHOW, C.; OCHIAI, Y.; WATABE, S.; HASHIMOTO, K. 1988. Effect of freezing and thawing of the discoloration of tuna meat. Nippon Suisan Gakkaishi 54(4): 639-648.

CHARMBERSI, P.; GRANDIN, T. 2001. Directrices para el manejo, transporte y sacrificio humanitario del ganado. FAO, IT. 65 p.

COMA, J; DIQUER, J. 1999. Calidad de carne de porcino: efecto de la nutrición (en línea). Madrid, ES, XV Curso de Especialización: Avances en Nutrición y Alimentación Animal. Consultado 3 de abr. 2014. Disponible en <http://www.uco.es/servicios/nirs/fedna/capitulos/99CAP8.pdf>

CONCYTEC (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, PE). 2001. Carnes de camélidos: alpacas y llamas (en línea). Lima, PE. Consultado 28 de ago. 2013. Disponible en http://www.concytec.gob.pe/portalsinacyt/images/stories/corcytecs/puno/Ventajas_Camelidos.pdf

CRISTOFANELLI, S.; ANTONINI, M.; TORRES, D.; POLIDORI, P.; RENIERI, C. 2004. Meat and carcass quality from peruvian llama (*Lama glama*) and alpaca (*Lama pacos*). Meat Science 66 (3): 589-593.

CRISTOFANELLI, S.; ANTONINI, M.; TORRES, D.; POLIDORI, P.; RENIERI, C. 2005. Carcass characteristics of Peruvian llama (*Lama glama*) and alpaca (*Lama pacos*) reared in the Andean Highlands. *Small Ruminant Research* 58 (1): 219-222.

CRUZ, J. 2007. Condiciones técnicas para garantizar un buen marinado de la carne (en línea). Bogotá, CO. Consultado 6 de abr. 2014. Disponible en <http://www.engormix.com/MA-ganaderia-carne/frigorifico/articulos/condiciones-tecnicas-garantizar-buen-t1760/378-p0.htm>.

DÁVILA, M. s.f. Consumo de la leche de llama (*Lama glama*) en los Andes Peruanos (en línea). Consultado 27 de feb. 2014. Disponible en http://www.uap.edu.pe/Investigacionesm/Esp/Revista_08_Esp_01.pdf

DHANDA, J.; PEGG, R.; SHAND, P. 2003. Tenderness and chemical composition of Elk (*Cervus elaphus*) meat: Effects of muscle type, marinade composition and cooking method. *Journal of Food Science* 68 (5): 1882-1888.

ERICKSON, M.; HUNG, Y. 1997. *Quality in Frozen Food*. New York, US, Chapman & Hall. 484 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). 2005. Situación actual de los camélidos sudamericanos en Perú (en línea). Consultado 23 de ago. 2013. Disponible en http://tarwi.lamolina.edu.pe/~emellisho/zootecnia_archivos/situacion%20alpacas%20peru.pdf

FENNEMA, O. 1993. *Química de los alimentos*. 2ed. Zaragoza, ES, Acribia S.A. 1256 p.

FERNÁNDEZ, J.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. 1997. Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. *Food Chemistry* 59 (3):345-353.

FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J., SEVILLA, L., SAYAS-BARBERÁ, E., NAVARRO, C.,

MARÍN, F. and PÉREZ-ALVAREZ, J. A. 2003. Evaluation of the antioxidant potential of Hyssop (*Hyssopus officinalis L.*) and Rosemary (*Rosmarinus officinalis L.*) extracts in cooked pork meat. *Journal of Food Science* 68 (2): 660-664.

FREIXANET, L. 2012. Aditivos e ingredientes en la fabricación de productos cárnicos cocidos de músculo entero (en línea). Girona, ES, Metalquimia. Consultado 17 de abr. 2014. Disponible en <http://es.metalquimia.com/upload/document/article-es-12.pdf>

GARCÍA, M. 1998. Estudio ultraestructural del componente miofibrilar de la fibra esquelética durante el almacenamiento en congelación en las especies *Gadus morhua*, L., *Merluccius merluccius*, L. Tesis Doctoral. Madrid, ES, Universidad Complutense de Madrid. 164p. Consultado 8 de nov. 2014. Disponible en: <http://biblioteca.ucm.es/tesis/19972000/X/3/X3053901.pdf>.

GARCÍA, I. 2000. Métodos para incrementar la capacidad de retención de agua de la carne en la elaboración de productos (en línea). Chihuahua, MX, Universidad Nacional Autónoma de Chihuahua. Consultado 27 de ago. 2013. Disponible en <http://www.angelfire.com/ar/iagg101/docum/CRA.PDF>

GENOT, C. 2003. Congelación y calidad de la carne. Zaragoza, ES, Acribia, S.A. 104 p.

GHEISARI, H.; AMINLARI, M.; SHEKARFOROUSH, S. 2009. A comparative study of the biochemical and functional properties of camel and cattle meat during frozen storage. *Veterinarski. Arhiv* 79 (1): 51-68.

GODOY, R.; VILCA, M.; GONZÁLES, A.; LEYVA, N.; SAM, R. 2007. Saneamiento y detoxificación de carne de llama (*Lama glama*) infectada con *Sarcocystis aucheniae* mediante cocción, horneado, fritura y congelado. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 18 (1): 51-56.

GONZÁLEZ TENORIO, R.; OYAGÜE, M.; TOTOSAUS, A.; PÉREZ CHABELA, M.

2004. Efecto del masajeo o marinado con cloruro de calcio en la textura de carne de bovino. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 4 (4): 274-277. Consultado 9 nov. 2014. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/724/72440408.pdf>.

GRAY, J.; MONAHAN. F. 1992. Measurement of lipid oxidation in meat and meat products. *Trends in Food Science & Technology* 3 (1): 315-319.

GREENE, B.; HSIN, I.; ZIPSER, M. 1971. Retardation of oxidative color changes in raw ground beef. *Journal of Food Science* 36 (6): 940-942.

GUTIÉRREZ, G.; MENDOZA, A.; WOLFINGER, B.; QUINA, E.; RODRIGUEZ, A.; MENDOZA, M.; TANTAHUILCA, F.; WUEZINGER, M. 2012. Caracterización de la crianza de llamas en la Sierra Central del Perú. Arica. **In** Congreso Mundial de Camélidos Sudamericanos, (VI, 2012, Arica, CL). Resúmenes y trabajos. Eds. L. Raggi; I. Rojas; V. Parraguez y N.Sepúlveda. Arica, CL, Universidad de Chile. p. 178.

HERNÁNDEZ, J. 2006. Incidencia y características de carne iridiscente de ganado bovino tropical (en línea). Tesis Doctoral. Chihuahua, MX, Universidad Autónoma de Chihuahua. Consultado 4 de abr. 2014. Disponible en <http://eprints.uach.mx/71/1/ZOO-TP-00004.pdf>

HONIKEL, K. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science* 49 (4): 447-457.

HUI, Y.; CORNILLON, P.; GUERRERO LEGARRETA, F.; LIM, M.; MURRELL, K.; NIP, W. 2004. *Handbook of Frozen Food*. New York, US, CRC Press. 1293 p.

INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, PE). 2002a. Norma Técnica Peruana, NTP 201.016:2002. CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS. Determinación del contenido de grasas total. Lima, PE. 8p.

INDECOPI . 2002b. Norma Técnica Peruana, NTP 201 .021 : 2002. CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS. Determinación del contenido de proteínas. Lima, PE. 11p.

INDECOPI. 2002c. Norma Técnica Peruana, NTP 201.022:2002. CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS. Determinación del contenido de cenizas. Lima, PE 7p.

INDECOPI. 2005a. Norma Técnica Peruana, NTP 201.043:2005. CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS. Definiciones, requisitos y clasificación de las carcasas y carne de alpacas y llamas. Lima, PE. 13p.

INDECOPI. 2005b. Norma Técnica Peruana, NTP-ISO 2917:2005. CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS. Medición de pH. Método de referencia. Lima, PE 12p.

INDECOPI. 2006. Norma Técnica Peruana, NTP-ISO 1442:2006. CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS. Determinación del contenido de humedad. Método de referencia. Lima, PE. 7p.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática, PE). 2012. Sistema de información económica (en línea). Consultado 2 de may. 2014. Disponible en <http://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/economia/>

JAMES, C.; JAMES, S. 2010. Chapter: Freezing/Thawing. **In** Handbook of Meat Processing, (2010, Iowa, USA). Ed. F. Toldrá Iowa, USA, Wiley-Blackwell. P.105-124.

JAMES, C.; LEJAY, I.; TORTOSA, N.; AIZPURUA, X.; JAMES, S. 2005. The effect of salt concentration on the freezing point of meat simulants. International Journal of Refrigeration 28 (6): 933-939.

KADIM, I.; MAHGOUB, O.; AL-MARZOOQI, W. 2008. Meat quality and composition of *Longissimus thoracis* from Arabian Camel (*Camelus dromedaries*) and Omani Beef: A comparative study. Journal of Camelid Science 1(1): 37-47.

KOLSARICI, N.; CANDOĞAN, K.; AKÖĞLU, A. 2010. Effect of frozen storage on alterations in lipids of chemically debones chicken meats. GIDA 35 (6): 403-410.

KRZYWICKI, K. 1979. Assessment of relative content of myoglobin, oxymyoglobin and metmyoglobin at the surface of beef. *Meat Science* 3 (1): 1-10.

LAWLOR, J.; SHEEHY, P.; KERRY, J.; BUCKLEY, D.; MORRISSEY, P. 2000. Measuring Oxidative Stability of Beef Muscles Obtained from Animals Supplemented with Vitamin E using Conventional and Derivative Spectrophotometry. *Journal of Food Science* 65: 1138-1141

LEYGONIE, C.; BRITZ, T. and HOFFMAN, L. 2012a. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. *Meat Science* 91 (2): 93-98

LEYGONIE, C.; BRITZ, T. and HOFFMAN, L. 2012b. Meat quality comparison between fresh and frozen/thawed ostrich *M. iliofibularis*. *Meat Science* 91 (3): 364-368.

MACHADO-VELASCO, K.; VÉLEZ-RUIZ, J. 2008. Estudio de las propiedades físicas de los alimentos mexicanos durante la congelación y el almacenamiento congelado. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 7 (1): 41-54.

MAMANI-LINARES, L.; GALLO, C. 2011. Composición química y calidad instrumental de carne de bovino, llama (*Lama glama*) y caballo bajo un sistema de crianza extensiva. *Revista de Investigación Veterinaria* 22 (4): 301-311.

MAMANI-LINARES, L.; CAYO, F.; GALLO, C. 2013. Calidad tecnológica de doce músculos de llamas jóvenes (*Lama glama*) criadas bajo un sistema de crianza extensiva. *Revista de Investigación Veterinaria Perú* 24 (2): 168-175.

MAMANI-LINARES, L.; GALLO, C. 2013a. Effects of supplementary feeding on carcass and meat quality traits of young llamas (*Lama glama*). *Small Ruminants Research* 114 (1): 233-239.

MAMANI-LINARES, L.; GALLO, C. 2013b. Meat quality attributes of *the Longissimus*

lumborum muscle of the Kh'ara genotype of llama (*Lama glama*) reared extensively in Northern Chile. Meat Science 94 (1): 89-94.

MAMANI-LINARES, L.; GALLO, C. 2014. Meat quality, proximate composition and muscle fatty acid profile of young llamas (*Lama glama*) supplemented with hay or concentrate during the dry season. Meat Science 96 (1): 394-399.

MATAIX, J.; CARAZO, E. 2005. Nutrición para educadores. 2ed. Madrid, ES, Díaz de Santos S.A. 728p.

MATEO, J. 2007. Estabilidad del color de la carne fresca. Nacameh 1 (1): 67-74.

MEDINA, K. 2014. Evaluación de las propiedades tecnológicas de la carne de alpaca (*Vicugna pacos*) envasada al vacío durante el almacenamiento en congelación. Tesis (Ingeniero en Industrias Alimentarias). Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 192p.

MOLLEDA, A. 2002. Efecto de los métodos de descongelación sobre los filetes congelados de perico (*Coryphaena hippurus Linnaeu*). Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina, Anales científicos Vol. LIII. 576p.

MORENO, B. 2006. Higiene e inspección de carnes I. Madrid, ES, Díaz de Santos. 646p.

NAM, KC.; AHN, D. U. 2003. Use of antioxidants to reduce lipid oxidation and off-odor volatiles of irradiated pork homogenates and patties. Meat Science 63 (1): 1-8.

ONEGA, M. 2003. Evaluación de la calidad de carnes frescas: aplicación de técnicas analíticas, instrumentales y sensoriales (en línea). Tesis Doctoral. Madrid, ES, Universidad Complutense de Madrid. España. Consultado 18 jun. 2014. Disponible en <http://biblioteca.ucm.es/tesis/vet/ucm-t27264.pdf>

PALMA, S. 2009. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y

microbiológicas de carne de res (*M. Longissimus dorsi*) marinada con jugo de mangostón (*Garcinia mangostana* L.) Proyecto especial (Ingeniera en Agroindustria Alimentaria). Zamorano, HN, 34p.

PERAZZINI, L. 2006. Cinética de ruptura do ferro heme em carne bovina (coxão *mole-semimembranosus* submetida a diferentes tratamentos térmicos. Tese (Doutor). São Paulo, Brasil, Universidade de São Paulo. Consultado 1 abr. 2014. Disponível em <http://www.teses.usp.br>

PÉREZ, P.; MAINO, M.; GÚZMAN, R.; VAQUERO, A.; KÖBRICH, C.; POKNIAK, J. 2000. Carcass characteristics of llamas (*Lama glama*) reared in Central Chile. Small Ruminant Research 37 (1): 93-97.

PEÑA, R.; DURÁN, D.; BALETA-MEDRANO, L.; GUALDRÓN, J. 2012. Efecto del marinado con NaCl y tripolifosfato-sódico sobre las propiedades microbiológicas y la ternura de la carne de cabra. Revista Spei Domus 8(17): 22-30. Consultado 9 nov. 2014. Disponible en <http://wb.ucc.edu.co/sdmvz/files/2013/05/articulo-3-vol-8-n-17.pdf>.

PIETRASIK, Z.; JANZ, J. 2009. Influence of freezing and thawing on the hydration characteristics, quality, and consumer acceptance of whole muscle beef injected with solutions of salt and phosphate. Meat Science 81 (3): 523-532.

POLIDORI, P.; RENIERI, C.; ANTONINI, M.; LEBBORONI, G. 2007a. Llama Meat Nutritional Properties. Italian Journal of Animal Science 6 (1): 857-858.

POLIDORI, P.; RENIERI, C.; ANTONINI, M.; PASSAMONTI, P. 2007b. Meat fatty acid composition of llama (*Lama glama*) reared in the Andean Highlands. Meat Science 75 (1): 356-358.

POLIDORI, P.; ANTONINI, M.; TORRES, D.; BEGHELLI, D.; RENIERI, C. 2007c. Tenderness evaluation and mineral levels of llama (*Lama glama*) and alpaca (*Lama pacos*) meat. Meat Science 77 (4): 599-601.

- POLYMERIDIS, A. 1978. Chilling and freezing meat. *Fleischwirtschaft* 58 (1): 728-732.
- PRICE, J.; SCHWEIGERT, B. 1994. *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. 2ed. Zaragoza, ES, Acribia. 592p.
- PUOLANNE, E.; PELTONEN, J. 2013. The effects of high salt and low pH on the water-holding capacity of meat. *Meat Science* 93 (2): 167-170.
- QUISPE, E.; RODRÍGUEZ, T.; IÑIGUEZ, L.; MUELLER, J. 2009. Producción de fibra de alpaca, llama, vicuña y guanaco en Sudamérica. *Animal Genetic Resources Information* 45 (1): 1-14.
- RAMÍREZ, J. 2004. Características bioquímicas del músculo, calidad de la carne y de la grasa de conejos seleccionados por velocidad de crecimiento (en línea). Tesis Doctoral. Barcelona, ES, Universidad Autónoma de Barcelona. Consultado 4 abr. 2014. Disponible en <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5655/jart1de1.pdf?sequence=1>
- RANKEN, M. 2003. *Manual de industrias de la carne*. Barcelona, ES, Mundi-Prensa Libros. 209p.
- RENERRE, M.; MAZUEL, J. 1985. Relations entre méthodes de mesures instrumentales et sensorielles de la couleur de la viande. *Sciences des Aliments* 5 (1): 541-557.
- RENGIFO L.; ORDÓÑEZ, E. 2010. Efecto de la temperatura en la capacidad de retención de agua y PH en carne de vacuno, cerdo, pollo, ovino, conejo y pescado paco (en línea). Lima, PE, ECIPerú Consultado 2 set. 2013. Disponible en http://revistas.concytec.gob.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1813-019420100002_00012&lng=es&nrm=iso
- RÍOS, J. 1978. Curvas de congelación y descongelación de carne de vacuno y cálculo de tiempos y velocidades de congelación. Tesis (Ingeniero en Industrias Alimentarias). Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 137p.

RODRÍGUEZ, F. 2004. Cría rentable de camélidos sudamericanos. AR, Ed. Fabián Rodríguez. 101p.

SAAVEDRA, R. 2013. Evaluación de las propiedades tecnológicas y estabilidad oxidativa de la carne de alpaca (*Vicugna pacos*) envasada al vacío a 4° C. Tesis (Ingeniero en Industrias Alimentarias). Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 139p.

SALVÁ, B. 2009. Caracterización de la carne y charqui de alpaca (*Vicugna pacos*). Tesis Doctoral. León, ES, Universidad de León. 280p.

SALVÁ, B.; ZUMALACÁRREGUI, J.; FIGUEIRA, A.; OSORIO, M.; MATEO, J. 2009. Nutrient composition and technological quality of meat from alpacas reared in Perú. *Meat Science* 82 (4): 450-455.

SÁNCHEZ, A.; TORRESCANO, G.; CAMOU, J.; GONZÁLEZ, N.; HERNÁNDEZ, G. 2008. Sistemas combinados de conservación para prolongar la vida útil de la carne y los productos cárnicos. *Nacameh* 2 (2): 124-159.

SEPÚLVEDA, N. 2011. Manual para el Manejo de Camélidos Sudamericanos. Fundación para la Innovación Agraria. Santiago, Chile. Consultado 26 de feb. 2014. Disponible en http://www.indap.gob.cl/sites/default/files/manual_para_el_manejo_de_camelidos_sudamericanos_domesticos.pdf

STOECKER, W. 1998. Chapter 17: Refrigeration and Freezing of Food. *Industrial Refrigeration Handbook*. New York, US, McGraw-Hill. 60p.

TEIJÓN, J.; GARRIDO, A. 2006. Fundamentos de bioquímica estructural. 2ed. Madrid, ES, Tebar S.L. 444p.

TEIRA, G.; PERLO, F.; BONATO, P.; FABRE, R. 2004. Estudio de mermas por descongelación en fillets de pollo. *Ciencia, Docencia y Tecnología* 4 (28): 203-213.

TORRES, H. 1992. Camélidos Silvestres Sudamericanos. CH, IUCN (International Union for Conservation of Nature). 58p.

UNAL (Universidad Nacional de Colombia, CO). 2004. Curso de industrias cárnicas. Capítulo 5: Elaboración de jamones cocidos (Preparación de la salmuera). Bogotá, CO. Consultado el 15 oct. 2013. Disponible en http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2001819/lecciones/cap05/cap05_06.html.

UTTARO, B.; AALHUS, J.L. 2007. Effect of thawing rate on distribution of an injected salt and phosphate brine in beef. *Meat Science* 75 (3): 480-486.

VACLAVIK, V. 2002. Fundamentos de ciencia de los alimentos. Zaragoza, ES, Acribia S.A. 485p.

VALLS, J.; PAREDES, A.; GONZÁLEZ, D. 2006. Estabilidad de filetes de sardina (*Sardinella aurita*) en almacenamiento congelado a -18°C. *Revista Científica (Maracaibo)* 16 (2): 176-185.

VÁSQUEZ, R.; MARTÍNEZ, R.; BALLESTEROS, H.; GRAJALES, H.; PÉREZ, J.; ABUABARA, Y.; BARRERA, G. 2006. El ganado Romosinuano en la producción de carne en Colombia. Corpaica (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). Bogotá, CO, Produmedios. 105p.

VENEGAS, O.; PÉREZ, D. 2009. Determinación de rancidez en carne. *Ciencia y Tecnología de los Alimentos* 19 (1): 60-70.

VERGARA, H. 1996. Características del crecimiento y de la calidad de la canal de corderos de raza Manchega. Castilla-La Mancha, ES, Universidad de Castilla-La Mancha. 228p.

VILÁ, B. 2007. Camellos sin joroba. Buenos Aires, AR, Colihue SRL. 148p.

XARGAYÓ, M.; LAGARES, J.; FERNÁNDEZ, E.; RUIZ, D.; BORRELL, D. 2004. Marinado de carne fresca por efecto “spray” en la calidad de productos marinados (en línea). Consultado el 27 oct. 2013. Disponible en <http://en.joseplagares.com/upload/article/marinadoporefectospray-3.pdf>

ZIMERMAN, M. 2010. pH de la carne y factores que la afectan. En: Aspectos estratégicos para obtener carne de ovino de calidad en el cono sur americano. Bariloche, AR, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 11p.

ZYMON, M.; STRZETELSKI, J.; PUSTKOWIAK, H.; SOSIN, E. 2007. Effect of freezing and frozen storage on fatty acid profile of calves meat. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences 57(4): 647-650.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Evaluación de sustancias reactivas con el ácido 2-tiobarbitúrico (TBARS)

(FUENTE: Nam y Anh, 2003)

Preparación de la recta patrón

Se midió con una precisión de $\pm 0,001$ ml en un matraz aforado de 100 ml, 0,0081 ml de 1,1,3,3-Tetraetoxipropano (TEP), los cuales fueron disueltos en 70 ml de agua destilada desionizada y posteriormente se completó el volumen obteniendo así la solución stock de TEP 3×10^{-4} M. Esta solución se mantuvo en refrigeración ($4\text{ }^{\circ}\text{C}$), y a partir de ella se preparó la solución de trabajo 3×10^{-5} M, diluyendo 10 ml de la solución stock en agua destilada desionizada hasta completar un volumen de 100 ml. Aliquotas de 0; 0,33; 0,66; 1,0; 1,33; 1,67; 2 ml de la solución de trabajo se pipetearon dentro de matraces volumétricos de 10 ml y se adicionó agua destilada desionizada hasta completar el volumen. 5 ml de cada dilución preparada se colocaron en tubos de ensayo con tapón de rosca conteniendo 5 ml del reactivo de TBA (0,02 M en 15% de ácido tricloroacético), tras su agitación los tubos se colocaron en un baño de agua a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 20 min hasta que se desarrolló el color, y posteriormente se enfriaron por 10 min en un baño de agua fría. La absorbancia de los estándares se midió a 531 nm (longitud de onda de máxima absorción).

Preparación del blanco

El blanco se preparó colocando 1 ml de agua destilada desionizada y 2 ml de solución TBA/TCA (sin adición de butilato hidroxitolueno) y se realizó el mismo procedimiento que se describe en el párrafo siguiente para las muestras.

Preparación de las muestra

Se pesó con una precisión de $\pm 0,1$ g, 2 g de carne molida y se homogenizó a alta velocidad durante 30 segundos con 20 ml de agua destilada desionizada, posteriormente, 1 ml del homogenizado se transfirió a un tubo de ensayo de taparosca, y se adicionó 50 μ l de butilato de hidroxitolueno (7,2% en etanol, v/v) y 2 ml de la solución TBA/TCA (20 mM TBA/15% TCA, p/v). La mezcla se homogenizó en un agitador y se incubó en baño de agua a 90 °C por 15 min hasta desarrollar el color, luego se enfriaron por 10 min en un baño de agua, tras lo cual las muestras se homogenizaron y centrifugaron a 5800 rpm por 20 min a 5 °C. Finalmente el sobrenadante se recolectó en tubos de ensayo limpios y se midió la absorbancia a 531 nm. Al resultado obtenido se le restó el valor del blanco preparado anteriormente.

Resultados

Las concentraciones se expresaron en mg de malonaldehído (MDA) por kg de carne de acuerdo a los valores obtenidos de la recta patrón.

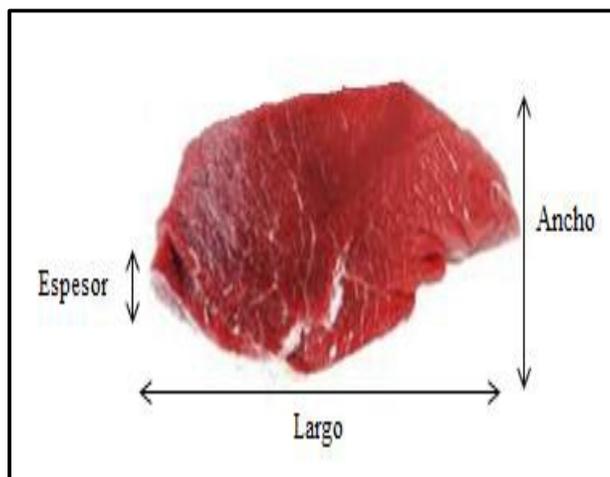
Anexo 2: Determinación instrumental de dureza

(FUENTE: Honikel, 1998)

- 1) Se retiró la carne de llama descongelada de la cámara de refrigeración, se abrió el cierre de la bolsa, se retiró la carne y se eliminó el exceso de líquido de la superficie de la carne con un papel de seda.
- 2) Se verificó que el músculo no tenga grasa subcutánea ni tejido conectivo, en caso contrario, se retiró con ayuda de un cuchillo.
- 3) Se envolvió la carne en papel aluminio y se introdujo en una bolsa hermética, eliminando el aire de su interior.
- 4) Se sumergió la bolsa sellada en agua a 90°C por 20 minutos, el proceso se mantuvo hasta que la temperatura interna (medida con un termómetro en el centro de la muestra) de la carne fue de 75°C.
- 5) Se retiró del agua y se dejó enfriar. Se rompió la bolsa, se retiró el papel aluminio y se secó la superficie de la carne.
- 6) Se cortó la carne cocida, con cuidado de no causar daños, en una sección transversal de 1 cm² (1 cm x 1 cm) y 3 cm de largo cortado en dirección paralela a las fibras musculares.
- 7) Por cada tratamiento se evaluaron 3 filetes y por cada uno se realizaron tres mediciones utilizando la cuchilla Warner-Bratzler de borde rombo.
- 8) Los parámetros instrumentales utilizados fueron: velocidad de ensayo de la cuchilla, 600 mm/min; umbral de fuerza, 50 g y distancia de corte, 25 mm.
- 9) Se determinó la fuerza máxima de corte (N) para romper la muestra totalmente (dureza).

Anexo 3: Evaluación de la congelación y la descongelación

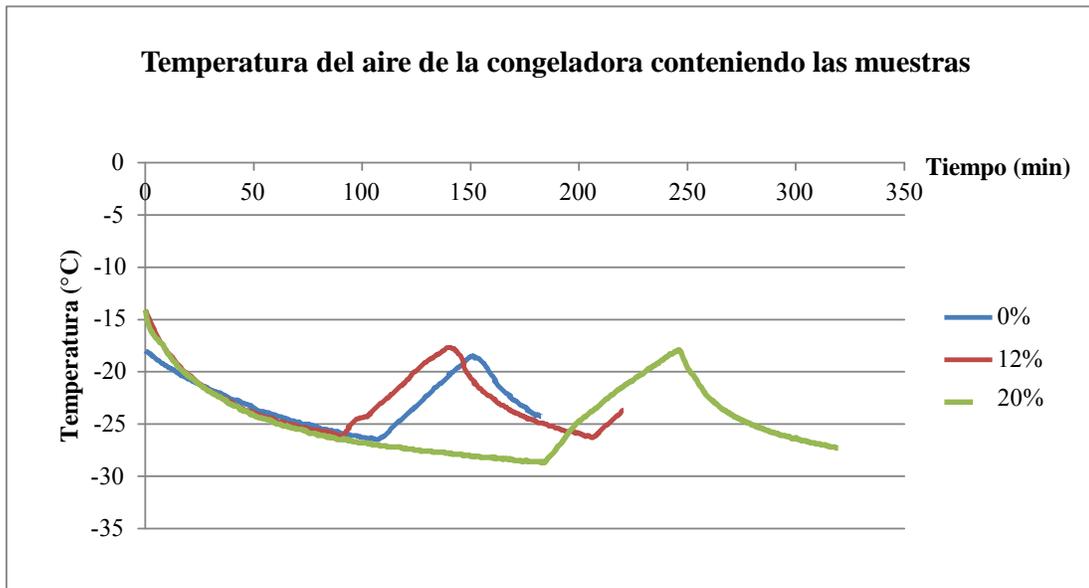
- a. Dimensiones y pesos de las muestras de músculo *Semimembranosus* de llama sometidos a congelación y descongelación



Tratamiento	Peso (g)		Espesor (mm)		Largo (mm)		Ancho (mm)	
	Media	± SD	Media	± SD	Media	± SD	Media	± SD
0%	218.33	± 15.14	23.33	± 1.53	122.33	± 13.28	76.00	± 7.94
12%	217.67	± 9.87	22.67	± 3.06	121.67	± 2.89	76.67	± 7.64
20%	224.00	± 11.14	22.67	± 1.53	108.33	± 15.28	79.00	± 3.61

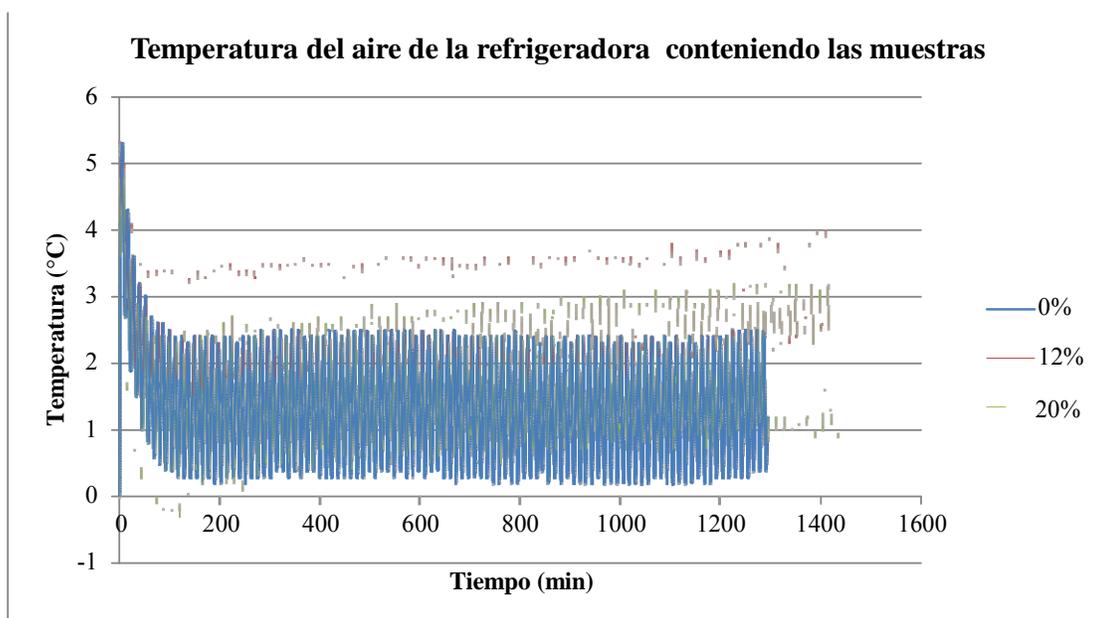
- b. Temperaturas máximas (T_{\max}), mínima (T_{\min}) y promedio (T_{prom}) de la congeladora durante un ensayo de cada tratamiento.

Tratamiento	T_{\max} (°C)	T_{\min} (°C)	T_{prom} (°C)
0%	-18	-26.5	-22.3
12%	-14.1	-26.3	-20.2
20%	-14.1	-28.7	-21.4



c. Temperaturas máximas (T_{max}), mínima (T_{min}) y promedio (T_{prom}) de la refrigeradora durante un ensayo de cada tratamiento.

Tratamiento	T_{max} (°C)	T_{min} (°C)	T_{prom} (°C)
0%	5.3	0.2	2.75
12%	5.3	1.5	3.4
20%	4.8	-0.3	2.25



- d. **Tiempo requerido para congelar los filetes de músculo *Semimembranosus* de llama de 4°C a -20°C.**

Tratamiento	Tiempo (min)				
	Promedio	±	DE	Mínimo	Máximo
0%	237.83	±	37.48	203	277.5
12%	295.50	±	39.60	267.5	323.5
20%	325.83	±	15.37	315.5	343.5

- e. **Tiempo requerido para descongelar los filetes de músculo *Semimembranosus* de llama de -20°C a 0 °C.**

Tratamiento	Tiempo (min)				
	Promedio	±	DE	Mínimo	Máximo
0%	1589.00	±	49.11	1547	1643
12%	1204.00	±	113.14	1124	1284
20%	1140.67	±	100.01	1047	1246

Anexo 4: Resultados de los análisis fisicoquímicos

a. pH

Tratamiento	Repetición	Valor
Control	1	6.05
	2	6.00
	3	6.00
0%	1	5.81
	2	5.82
	3	5.75
12%	1	5.79
	2	5.73
	3	5.73
20%	1	5.64
	2	5.64
	3	5.64

b. Humedad

Tratamiento	Repetición	Valor
Control	1	76.61
	2	76.41
	3	76.43
0%	1	75.95
	2	75.43
	3	75.57
12%	1	77.89
	2	78.19
	3	78.21
20%	1	79.03
	2	79.59
	3	79.15

c. Capacidad de retención de agua (volumen absorbido (ml)/100 g de carne)

Tratamiento	Repetición	Valor
	1	50.07
Control	2	47.99
	3	51.55
	1	47.57
0%	2	38.76
	3	45.66
	1	39.45
12%	2	47.59
	3	48.79
	1	14.82
20%	2	26.01
	3	20.47

d. Pérdida por descongelación (%)

Tratamiento	Repetición	Valor
	1	4.57
0%	2	4.54
	3	5.33
	1	2.18
12%	2	2.13
	3	2.86
	1	2.48
20%	2	2.01
	3	2.24

e. Pérdida por cocción (%)

Tratamiento	Repetición	Valor
Control	1	39.49
	2	34.79
	3	38.86
0%	1	34.51
	2	38.80
	3	40.18
12%	1	20.96
	2	18.77
	3	16.02
20%	1	24.56
	2	19.42
	3	23.46

f. Sustancias reactivas al ácido 2-tiobarbitúrico, TBARS (mg MDA/kg carne)

Tratamiento	Repetición	Valor
Control	1	0.35
	2	0.36
	3	0.40
0%	1	0.33
	2	0.37
	3	0.35
12%	1	0.38
	2	0.44
	3	0.40
20%	1	0.41
	2	0.43
	3	0.47

g. Metamioglobina (%)

Tratamiento	Repetición	Valor
Control	1	7.67
	2	11.71
	3	11.59
0%	1	33.11
	2	39.54
	3	33.56
12%	1	57.86
	2	57.51
	3	53.77
20%	1	67.26
	2	66.13
	3	55.73

h. Dureza

Tratamiento	Repetición	Valor
Control	1	66.64
	2	57.91
	3	53.47
0%	1	39.56
	2	36.76
	3	34.40
12%	1	33.65
	2	45.11
	3	34.13
20%	1	31.96
	2	43.80
	3	28.99

Anexo 5: Resultado de las pruebas estadísticas

a. pH

Medias marginales estimadas

Porcentaje de Inyección	Medio	Error	Intervalo de confianza al 95%	
		estándar	Límite inferior	Límite superior
Control	6,017	,017	5,977	6,056
0%	5,793	,017	5,754	5,833
12%	5,750	,017	5,711	5,789
20%	5,640	,017	5,601	5,679

ANOVA

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	,225 ^a	3	,075	86,641	,000
Interceptación	403,680	1	403,680	465784,615	,000
Porcentaje_de_Inyección	,225	3	,075	86,641	,000
Error	,007	8	,001		
Total	403,912	12			
Total corregido	,232	11			

a. R al cuadrado = ,970 (R al cuadrado ajustada = ,959)

Como el nivel de significancia es menor a 0.05, se afirma que al menos el valor de pH de uno de los tratamientos es distinto a los demás. Se procede a realizar la prueba de comparación de Dunnett.

Prueba T de Dunnett (bilateral)

(I)Porcentaje_ de_Inyección	(J)Porcentaje_ de_Inyección	Diferencia de	Error	Sig.	Intervalo de	
		medias (I-J)	estándar		Límite inferior	Límite superior
0%	Control	-,2233*	,02404	,000	-,2926	-,1541
12%	Control	-,2667*	,02404	,000	-,3359	-,1974
20%	Control	-,3767*	,02404	,000	-,4459	-,3074

El término de error es la media cuadrática (Error) = 0,001.

* La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05, ya que el nivel de significancia calculado es menor a este valor.

b. Humedad (%)

Medias marginales estimadas

Porcentaje de Inyección	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Control	76,483	,126	76,194	76,773
0%	75,650	,126	75,361	75,939
12%	78,090	,126	77,801	78,379
20%	79,237	,126	78,947	79,526

ANOVA

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	23,242 ^a	3	7,747	163,907	,000
Interceptación	71824,119	1	71824,119	1519551,171	,000
Porcentaje de Inyección	23,242	3	7,747	163,907	,000
Error	,378	8	,047		
Total	71847,739	12			
Total corregido	23,620	11			

a. R al cuadrado = ,984 (R al cuadrado ajustada = ,978)

Como el nivel de significancia es menor a 0.05, se afirma que al menos el valor de humedad de uno de los tratamientos es distinto a los demás. Se procede a realizar la prueba de comparación de Dunnett.

Prueba T de Dunnett (bilateral)

(I)Porcentaje de Inyección	(J)Porcentaje de Inyección	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0%	Control	-,8333*	,17751	,004	-1,3445	-,3222
12%	Control	1,6067*	,17751	,000	1,0955	2,1178
20%	Control	2,7533*	,17751	,000	2,2422	3,2645

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,047.

**La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05, ya que el nivel de significancia calculado es menor a este valor.*

c. Capacidad de retención de agua (volumen absorbido (ml)/100 g de carne)

Medias marginales estimadas

Porcentaje de inyección	Error		Intervalo de confianza al 95%	
	Media	estándar	Límite inferior	Límite superior
Control	49,870	2,553	43,983	55,757
0%	43,997	2,553	38,109	49,884
12%	45,490	2,553	39,603	51,377
20%	20,433	2,553	14,546	26,321

ANOVA

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	1579,121 ^a	3	526,374	26,920	,000
Interceptación	19149,633	1	19149,633	979,365	,000
Porcentaje de Inyección	1579,121	3	526,374	26,920	,000
Error	156,425	8	19,553		
Total	20885,179	12			
Total corregido	1735,546	11			

a. R al cuadrado = .910 (R al cuadrado ajustada = .876)

Como el nivel de significancia es menor a 0.05, se afirma que al menos el valor de incorporar agua de uno de los tratamientos es distinto a los demás. Se procede a realizar la prueba de comparación de Dunnett.

Prueba T de Dunnett (bilateral)

(I)Porcentaje de Inyección	(J)Porcentaje de Inyección	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0%	Control	-5,8733	3,61046	,307	-16,2702	4,5236
12%	Control	-4,3800	3,61046	,514	-14,7769	6,0169
20%	Control	-29,4367*	3,61046	,000	-39,8336	-19,0398

El término de error es la media cuadrática (Error) = 19.553.

*La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05, ya que el nivel de significancia calculado es menor a este valor.

d. Pérdidas por descongelación (%)

Medias marginales estimadas

Porcentaje de Inyección	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
0%	4,813	,217	4,284	5,343
12%	2,390	,217	1,860	2,920
20%	2,243	,217	1,714	2,773

ANOVA

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	12,499 ^a	2	6,249	44,431	,000
Interceptación	89,240	1	89,240	634,454	,000
Porcentaje de Inyección	12,499	2	6,249	44,431	,000
Error	,844	6	,141		
Total	102,582	9			
Total corregido	13,343	8			

a. R al cuadrado = .937 (R al cuadrado ajustada = .916)

Como el nivel de significancia es menor a 0.05, se afirma que al menos el valor de pérdida por descongelación de uno de los tratamientos es distinto a los demás. Se procede a realizar la prueba de comparación de Dunnett.

Prueba T de Dunnett (bilateral)

(I)Porcentaje de Inyección	(J)Porcentaje de Inyección	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
12%	0%	-2,4233*	,30622	,000	-3,3000	-1,5467
20%	0%	-2,5700*	,30622	,000	-3,4466	-1,6934

El término de error es la media cuadrática (Error) = .141.

**La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05, ya que el nivel de significancia calculado es menor a este valor.*

e. Pérdidas por cocción (%)

Medias marginales estimadas

Porcentaje_de_Inyección	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Control	37,587	1,571	33,965	41,208
0%	37,830	1,571	34,208	41,452
12%	18,583	1,571	14,962	22,205
20%	22,480	1,571	18,858	26,102

ANOVA

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	907,978 ^a	3	302,659	40,901	,000
Interceptación	10175,693	1	10175,693	1375,123	,000
Porcentaje_de_Inyección	907,978	3	302,659	40,901	,000
Error	59,199	8	7,400		
Total	11142,870	12			
Total corregido	967,177	11			

a. R al cuadrado = ,939 (R al cuadrado ajustada = ,916)

Como el nivel de significancia es menor a 0.05, se afirma que al menos el valor de pérdida por descongelación de uno de los tratamientos es distinto a los demás. Se procede a realizar la prueba de comparación de Dunnett.

Prueba T de Dunnett (bilateral)

(I)Porcentaje_de_Inyección	(J)Porcentaje_de_Inyección	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0%	Control	,2433	2,22109	,999	-6,1526	6,6393
12%	Control	-19,0033*	2,22109	,000	-25,3993	-12,6074
20%	Control	-15,1067*	2,22109	,000	-21,5026	-8,7107

El término de error es la media cuadrática (Error) = 7,400.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05, ya que el nivel de significancia calculado es menor a este valor.

f. Sustancias reactivas al ácido 2-tiobarbitúrico, TBARS (mg MDA/kg carne)

Medias marginales estimadas

Porcentaje_de_Inyección	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Control	,370	,016	,334	,406
0%	,350	,016	,314	,386
12%	,407	,016	,370	,443
20%	,437	,016	,400	,473

ANOVA

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	,013 ^a	3	,004	6,004	,019
Interceptación	1,833	1	1,833	2471,472	,000
Porcentaje_de_Inyección	,013	3	,004	6,004	,019
Error	,006	8	,001		
Total	1,852	12			
Total corregido	,019	11			

a. R al cuadrado = ,692 (R al cuadrado ajustada = ,577)

Como el nivel de significancia es menor a 0.05, se afirma que al menos el valor de TBARS de uno de los tratamientos es distinto a los demás. Se procede a realizar la prueba de comparación de Dunnett

Prueba T de Dunnett (bilateral)

(I)Porcentaje de_Inyección	(J)Porcentaje de_Inyección	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0%	Control	-,0200	,02224	,707	-,0840	,0440
12%	Control	,0367	,02224	,298	-,0274	,1007
20%	Control	,0667*	,02224	,042	,0026	,1307

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,001.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05, ya que el nivel de significancia calculado es menor a este valor.

g. Metamioglobina (%)

Medias marginales estimadas

Porcentaje de Inyección	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Control	10,323	2,303	5,013	15,633
0%	35,403	2,303	30,093	40,713
12%	56,363	2,303	51,053	61,673
20%	63,040	2,303	57,730	68,350

ANOVA

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	5081,565 ^a	3	1693,855	106,480	,000
Interceptación	20450,938	1	20450,938	1285,592	,000
Porcentaje de Inyección	5081,565	3	1693,855	106,480	,000
Error	127,262	8	15,908		
Total	25659,765	12			
Total corregido	5208,827	11			

a. R al cuadrado = ,976 (R al cuadrado ajustada = ,966)

Como el nivel de significancia es menor a 0.05, se afirma que al menos el valor de metamioglobina de uno de los tratamientos es distinto a los demás. Se procede a realizar la prueba de comparación de Dunnett

Prueba T de Dunnett (bilateral)

(I)Porcentaje de Inyección	(J)Porcentaje de Inyección	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0%	Control	25,0800*	3,25656	,000	15,7022	34,4578
12%	Control	46,0400*	3,25656	,000	36,6622	55,4178
20%	Control	52,7167*	3,25656	,000	43,3389	62,0945

El término de error es la media cuadrática (Error) = 15,908.

*. *La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05, ya que el nivel de significancia calculado es menor a este valor.*

h. Dureza (N)

Medias marginales estimadas

Porcentaje de Inyección	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Control	59,340	3,594	51,053	67,627
0%	36,907	3,594	28,619	45,194
12%	37,630	3,594	29,343	45,917
20%	34,917	3,594	26,629	43,204

ANOVA

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	1187,192 ^a	3	395,731	10,214	,004
Interceptación	21368,392	1	21368,392	551,516	,000
Porcentaje_de_Inyección	1187,192	3	395,731	10,214	,004
Error	309,959	8	38,745		
Total	22865,543	12			
Total corregido	1497,151	11			

a. R al cuadrado = ,793 (R al cuadrado ajustada = ,715)

Como el nivel de significancia es menor a 0.05, se afirma que al menos el valor de dureza de uno de los tratamientos es distinto a los demás. Se procede a realizar la prueba de comparación de Dunnett

Prueba T de Dunnett (bilateral)

(I)Porcentaje_ de Inyección	(J)Porcentaje_ de Inyección	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0%	Control	-22,4333*	5,08231	,006	-37,0687	-7,7980
12%	Control	-21,7100*	5,08231	,007	-36,3453	-7,0747
20%	Control	-24,4233*	5,08231	,003	-39,0587	-9,7880

El término de error es la media cuadrática (Error) = 38,745.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05, ya que el nivel de significancia calculado es menor a este valor.