



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

## FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

Evaluación de pH y color en carne de ovino  
congelada-descongelada

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERA EN ALIMENTOS

**P R E S E N T A:**  
**ALICIA ÁLVAREZ SÁNCHEZ**

Asesores: Dra. Adriana Llorente Bousquets  
M. en C. Jonathan Coria Hernández



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

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

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN  
ASUNTO: VOTO APROBATORIO



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

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

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

Evaluación de pH y color en carne de ovino congelada-descongelada.

Que presenta la pasante: Alicia Alvarez Sánchez

Con número de cuenta: 409097328 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 08 de Junio de 2015.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

|               | NOMBRE                             | FIRMA |
|---------------|------------------------------------|-------|
| PRESIDENTE    | Dr. José Francisco Montiel Sosa    |       |
| VOCAL         | Dra. Adriana Llorente Bousquets    |       |
| SECRETARIO    | M. en C. Crisoforo Mercado Márquez |       |
| 1er. SUPLENTE | M. en C. Tais Nopal Guerrero       |       |
| 2do. SUPLENTE | I.A. Miriam Álvarez Velasco        |       |

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

IHM/mmgm\*

## Agradecimientos

**Esta tesis forma parte de los proyectos del Taller Multidisciplinario de Ingeniería en Alimentos:**

**Procesos Tecnológicos de Productos Cárnicos,  
Plan de estudio 2004 de la carrera de Ingeniería en Alimentos.**

**Se desarrolló en el Laboratorio 7 de Bioconservación en la Unidad de Investigación Multidisciplinaria de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.**

**Agradezco al proyecto DGAPA-PAPIIT IT201312**

**“Aplicación de alternativas de bioconservación y conservación para mejorar la calidad de la carne y los productos cárnicos”, por el apoyo para la realización de este trabajo de tesis.**

## Dedicatorias

Para Alicia e Isaac (mis padres), que me dieron todo sin esperar nada a cambio, por todos sus sacrificios para que pudiera terminar una carrera, por su cariño y apoyo incondicional a lo largo de este camino; y por enseñarme a nunca darme por vencida, gracias.

A mi hermana Dana, por crecer conmigo tanto física como emocionalmente y enseñarme que por muy diferentes que seamos el amor de hermanas es inquebrantable.

A mi esposo Iván, por todo tu cariño, comprensión, sobre todo por soportar mis berrinches y estar siempre a mi lado a pesar de los obstáculos.

A mis amigas Ceci, Pau, Luz, Itzel, Yaki, Yoce y Sara por estar conmigo a lo largo de la carrera, por hacerme ver que no importa la edad siempre puedes seguir jugando como un niño de 6 años y por esos desayunos interminables llenos de risas, gracias.

A mis asesores Dra. Adriana Llorente Bousquets y M. en C. Jonathan Coria Hernández por ayudarme a cerrar esta etapa de mi vida y seguir hay después de hacerlos esperar tanto, les doy las gracias.

## ÍNDICE GENERAL

|  |    |
|--|----|
| ÍNDICE DE FIGURAS.....   | 8  |
| ÍNDICE DE CUADROS.....   | 11 |
| RESUMEN.....   | 12 |
| INTRODUCCIÓN.....  | 13 |
| <br>   |    |
| CAPÍTULO 1 MARCO TEORICO.....                                  | 15 |
| 1.1. Carne.....  | 15 |
| 1.2. Factores que afectan los cambios de músculo en carne..... | 16 |
| 1.2.1. Bienestar animal.....                                   | 16 |
| 1.2.2. <i>Ante-Mortem</i> .....                                | 16 |
| 1.2.3. <i>Trans-Mortem</i> .....                               | 17 |
| 1.2.4. <i>Post-Mortem</i> .....                                | 18 |
| 1.2.5. <i>Rigor-Mortis</i> .....                               | 18 |
| 1.2.6. Maduración.....   | 19 |
| 1.2.6.1. Acortamiento por frío.....                            | 20 |
| 1.3. Factores que afectan la calidad de la carne.....          | 21 |
| 1.3.1. Factores intrínsecos.....                               | 21 |
| 1.3.1.1. Raza.....   | 21 |
| 1.3.1.2. Sexo.....   | 22 |
| 1.3.1.3. Edad.....   | 22 |
| 1.3.2. Factores extrínsecos.....                               | 22 |
| 1.3.2.1. Transporte.....                                       | 22 |
| 1.3.2.2. Reposo.....   | 23 |
| 1.3.2.3. Estrés.....   | 23 |
| 1.4. Procesos bioquímicos.....                                 | 23 |
| 1.4.1. Glicólisis anaerobia.....                               | 23 |
| 1.4.2. Mioglobina.....   | 25 |
| 1.5. Defectos de la carne.....                                 | 28 |
| 1.5.1. DFD (dark, firm, dry).....                              | 28 |
| 1.5.2. PSE (pale, soft, exudative).....                        | 29 |
| 1.6. pH.....   | 29 |
| 1.6.1. Determinación de pH con electrodo de vidrio.....        | 30 |

|  |  |    |
|--|--|----|
| 1.7.   | Color .....                              | 31 |
| 1.7.1.   | Teoría del color.....                    | 32 |
| 1.7.2.   | Modelo de color CIELAB (L*, a*, b*)..... | 33 |
| 1.8.   | Métodos de conservación.....             | 35 |
| 1.8.1.   | Congelación.....                         | 36 |
| 1.8.1.1.   | Velocidad de congelación .....           | 38 |
| 1.8.1.2.   | Congelación y color .....                | 39 |
| 1.8.2.   | Envasado .....                           | 40 |
| 1.8.3.   | Descongelación.....                      | 40 |
| 1.8.3.1.   | Cambios durante la descongelación .....  | 42 |
| 1.9.   | Producción de ganado ovino .....         | 42 |
|  | JUSTIFICACIÓN .....                      | 46 |
| CAPITULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS .....                |  | 47 |
| 2.1.   | Cuadro metodológico.....                 | 47 |
| 2.2.   | Actividades preliminares.....            | 49 |
| 2.2.1.   | Caracterización .....                    | 49 |
| 2.2.2.   | Sacrificio .....                         | 49 |
| 2.2.3.   | Obtención de la muestra .....            | 50 |
| 2.2.4.   | Descongelación.....                      | 51 |
| 2.3.   | Experimentación.....                     | 52 |
| 2.3.1.   | pH .....                                 | 52 |
| 2.3.1.1.   | Método para medir pH .....               | 52 |
| 2.3.2.   | Parámetros de perfil de color.....       | 53 |
| 2.3.2.1.   | Métodos para medir perfil de color ..... | 54 |
| 2.3.3.   | Correlación de las variables .....       | 56 |
| CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS ..... |  | 60 |
| 3.1.   | pH.....                                  | 61 |
| 3.2.   | Parámetros de perfil de color .....      | 64 |
| 3.2.1.   | Parámetro L* .....                       | 65 |
| 3.2.2.   | Parámetro a*.....                        | 67 |
| 3.2.3.   | Parámetro b* .....                       | 68 |
| 3.2.4.   | Parámetro CROMA .....                    | 70 |
| 3.2.5.   | Parámetro ÁNGULO HUE .....               | 71 |

|  |    |
|--|----|
| 3.2.6. Parámetro DELTA E.....          | 73 |
| 3.3. Perfil de color en exudados ..... | 74 |
| 3.4. Curva espectral.....              | 77 |
| 3.5. Correlación pH-Color .....        | 78 |
| CONCLUSIONES .....                     | 80 |
| REFERENCIAS .....                      | 81 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Posición correcta de la pistola de proyectil cautivo .....   | 17 |
| Figura 2. Composición de las fibras musculares .....   | 20 |
| Figura 3. Grupo hemo de la mioglobina .....  | 26 |
| Figura 4. Transformación de la mioglobina .....  | 27 |
| Figura 5. Composición de un electrodo de vidrio combinado .....  | 31 |
| Figura 6. Luz blanca dividida en sus componentes .....   | 32 |
| Figura 7. Modelo de color CIELAB .....   | 33 |
| Figura 8. Ejemplo de ángulo de tono y croma C * (índice de saturación) en parte de un<br>diagrama de cromaticidad .....  | 34 |
| Figura 9. Diferentes fases de la congelación de una muestra.....   | 37 |
| Figura 10. Representación esquemática del efecto de la velocidad de congelación, del tiempo<br>de conservación en estado congelado y de las fluctuaciones de la temperatura de<br>conservación sobre la localización y tamaño de los cristales de hielo, las pérdidas por<br>exudados durante la descongelación y sobre la jugosidad de la carne ..... | 39 |
| Figura 11. Cadena productiva de la carne de ovino.....   | 43 |
| Figura 12. Producción de carne en canal de ganado ovino por entidad federativa en el 2012<br>.....   | 44 |
| Figura 13. Total Nacional producción y precio medio de carne en canal de ganado ovino<br>2007-2012 (toneladas y pesos por tonelada) .....  | 45 |
| Figura 14. Angulo para la insensibilización en ovinos .....  | 49 |
| Figura 15. Canal de ovino .....  | 49 |
| Figura 16. Pierna con Cuadril y con Garrón .....   | 50 |
| Figura 17. Envasadora al vacío.....  | 51 |
| Figura 18. Refrigerador vertical .....   | 51 |
| Figura 19. Descongelación rápida .....   | 52 |
| Figura 20. Soluciones buffer .....   | 52 |
| Figura 21. Muestra de carne de ovino.....  | 53 |
| Figura 22. Punción en la carne con el electrodo (izquierda) y lectura (derecha) .....  | 53 |
| Figura 23. Calibración del equipo.....   | 54 |
| Figura 24. Capuchón para calibración en blancos CM-A177 .....  | 54 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 25. Muestra para determinación .....   | 55 |
| Figura 26. Toma de lectura.....   | 55 |
| Figura 27. Base de datos .....  | 56 |
| Figura 28. Hoja de cálculo para la correlación.....   | 57 |
| Figura 29. Análisis de datos .....  | 57 |
| Figura 30. Selección de datos.....  | 58 |
| Figura 31. Datos obtenidos para la correlación .....  | 59 |
| Figura 32. Variables a utilizar en la correlación.....  | 59 |
| Figura 33. Gráfica de pH en el músculo semitendinoso .....  | 61 |
| Figura 34. Gráfica de pH en el músculo semimembranoso .....   | 62 |
| Figura 35. Gráfica de pH en el músculo largo dorsal .....   | 62 |
| Figura 36. ANOVA del pH en carne fresca, carne en congelación-descongelación rápida,<br>carne en congelación-descongelación lenta .....                                 | 63 |
| Figura 37. Grafica comparativa de los parámetros de perfil de color en carne congelación-<br>descongelación rápida .....  | 64 |
| Figura 38. Grafica comparativa de los parámetros de perfil de color en carne congelación-<br>descongelación lenta .....   | 64 |
| Figura 39. ANOVA del parámetro $L^*$ , en carne congelación- descongelación rápida, en los<br>músculos semitendinoso (ST), semimembranoso (SM) y largo dorsal (LD)..... | 65 |
| Figura 40. ANOVA del parámetro $L^*$ , en carne congelación- descongelación lenta, en los<br>músculos semitendinoso (ST), semimembranoso (SM) y largo dorsal (LD).....  | 66 |
| Figura 41. ANOVA del parámetro $L^*$ , en carne fresca, carne en congelación- descongelación<br>rápida, carne en congelación- descongelación lenta .....                | 66 |
| Figura 42. ANOVA del parámetro $a^*$ , en carne congelación- descongelación rápida, en los<br>músculos semitendinoso (ST), semimembranoso (SM) y largo dorsal (LD)..... | 67 |
| Figura 43. ANOVA del parámetro $a^*$ , en carne congelación- descongelación lenta, en los<br>músculos semitendinoso (ST), semimembranoso (SM) y largo dorsal (LD).....  | 67 |
| Figura 44. ANOVA del parámetro $a^*$ , en carne fresca, carne en congelación- descongelación<br>rápida, carne en congelación- descongelación lenta .....                | 68 |
| Figura 45. ANOVA del parámetro $b^*$ , en carne congelación- descongelación rápida, en los<br>músculos semitendinoso (ST), semimembranoso (SM) y largo dorsal (LD)..... | 68 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 46. ANOVA del parámetro $b^*$ , en carne fresca, carne en congelación- descongelación rápida, carne en congelación- descongelación lenta.....                             | 69 |
| Figura 47. ANOVA del parámetro $b^*$ , en carne fresca, carne en congelación- descongelación rápida, carne en congelación- descongelación lenta.....                             | 69 |
| Figura 48. ANOVA del parámetro $c^*$ , en carne congelación- descongelación rápida, en los músculos semitendinoso (ST), semimembranoso (SM) y largo dorsal (LD).....             | 70 |
| Figura 49. ANOVA del parámetro $c^*$ , en carne fresca, carne en congelación- descongelación rápida, carne en congelación- descongelación lenta.....                             | 70 |
| Figura 50. ANOVA del parámetro $c^*$ , en carne fresca, carne en congelación- descongelación rápida, carne en congelación- descongelación lenta.....                             | 71 |
| Figura 51. ANOVA del parámetro $h^*$ , en carne congelación- descongelación rápida, en los músculos semitendinoso (ST), semimembranoso (SM) y largo dorsal (LD).....             | 71 |
| Figura 52. ANOVA del parámetro $h^*$ , en carne fresca, carne en congelación- descongelación rápida, carne en congelación- descongelación lenta.....                             | 72 |
| Figura 53. ANOVA del parámetro $h^*$ , en carne fresca, carne en congelación- descongelación rápida, carne en congelación- descongelación lenta.....                             | 72 |
| Figura 54. Grafica comparativa de los parámetros de perfil de color en los exudados de la carne en congelación-descongelación lenta, carne en congelación-descongelación rápida. | 74 |
| Figura 55. ANOVA del parámetro $L^*$ en los exudados de la carne en congelación- descongelación rápida, carne en congelación- descongelación lenta.....                          | 75 |
| Figura 56. ANOVA del parámetro $a^*$ en los exudados de la carne en congelación- descongelación rápida, carne en congelación- descongelación lenta.....                          | 75 |
| Figura 57. ANOVA del parámetro $b^*$ en los exudados de la carne en congelación- descongelación rápida, carne en congelación- descongelación lenta.....                          | 76 |
| Figura 58. ANOVA del parámetro $c^*$ en los exudados de la carne en congelación- descongelación rápida, carne en congelación- descongelación lenta.....                          | 76 |
| Figura 59. ANOVA del parámetro $h^*$ en los exudados de la carne en congelación- descongelación rápida, carne en congelación- descongelación lenta.....                          | 77 |
| Figura 60. Curva espectral.....  | 77 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|  |    |
|--|----|
| Cuadro 1. Composición química de carnes de diferentes especies de animales .....   | 15 |
| Cuadro 2. Comparación entre las diferentes técnicas de descongelación .....  | 41 |
| Cuadro 3. Datos de los parámetros de perfil de color en carne en congelación-<br>descongelación rápida y carne en congelación-descongelación lenta ..... | 60 |
| Cuadro 4. Datos de $\Delta E$ .....  | 73 |
| Cuadro 5. Comprobación de correlación pH-color .....   | 79 |

## RESUMEN

En términos generales los rebaños ovinos nacionales son poco homogéneos tanto en cantidad como en calidad. En cuanto a calidad, como consecuencia de la diversidad genética, lo errático de los cruzamientos y la divergencia en el tipo de alimento proporcionado, existen grupos heterogéneos, con lotes de alta, intermedia y baja calidad, siendo pocos los casos exitosos de acopio de corderos de calidad uniforme, que puedan ser comercializados de manera continua en los grandes centros de consumo. El consumo principal de carne de ovino en México es en barbacoa, ya que del total producido, el 90% se destina a su elaboración y el resto a otros platillos como birria y cortes finos. La calidad de la carne está influenciada por características propias de los animales tales como la raza, sexo, edad, entre otros. Sin embargo las condiciones de manejo durante el transporte al rastro, el sacrificio, y durante su maduración y comercialización, determinan la calidad final. En este sentido desde el punto de vista del consumidor, el color es de las características de calidad, más importante y el color rojo brillante en la carne, es de mayor preferencia y lo asociación características de frescura. El principal pigmento en la carne es la mioglobina, que es una proteína sarcoplásmica conjugada de color rojo, afectada por diversas condiciones de manejo (refrigeración, congelación, etc.) y en consecuencia se afectan también algunos parámetros de calidad. El pH condiciona la estabilidad de ésta proteína, por lo que es importante considerar que los resultados de la medición de los parámetros de perfil de color, estén acompañados por la medición del pH. En el presente proyecto se evaluaron los parámetros de perfil de color y el pH de carne de ovino sometida a congelación-descongelación. Se utilizaron muestras de 3 diferentes músculos: semimembranoso, semitendinoso y largo dorsal obtenidas en el Centro de Enseñanza Agropecuaria (CEA) de la FES-Cuautitlán Campo 4, estas fueron transportadas al Laboratorio 7 de la UIM bajo condiciones de control de temperatura ( $< 5^{\circ}\text{C}$ ). Se trabajó con carne fresca (madurada 24h) y carne congelada por un mes en cámara de congelación a una temperatura de  $-20\pm 2^{\circ}\text{C}$ , la cual fue descongelada utilizando dos métodos de descongelación, lenta en refrigeración a  $4^{\circ}\text{C}$  y rápida por inmersión de la carne congelada envasada, en agua a  $25^{\circ}\text{C}$ . En la carne previa a la congelación y descongelada, se determinó pH por punción y parámetros de perfil de color, para todas las muestras se hicieron 3 réplicas de cada determinación. Se formuló una ecuación que demostró que existe correlación entre el pH y los parámetros de perfil de color  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (matices verde-rojo) y  $b^*$  (matices azul-amarillo), utilizando el programa Excel de paquete Microsoft Office 2013. Los datos de pH y color obtenidos fueron analizados con el programa estadístico MINITAB. El análisis estadístico mostró que no existe diferencia significativa ( $P>0.05$ ) en el pH entre los músculos evaluados, sin embargo si demostró diferencia significativa ( $P<0.05$ ) entre las muestras de carne congeladas-descongeladas. Durante la descongelación rápida, se obtuvieron menores valores de pH, mayor volumen de exudados y la mayor afección ocurrió en  $b^*$  (amarillo-azul), debido a la liberación de exudados ricos en mioglobina, por el contrario la menor pérdida de exudados ocurrió tras la descongelación lenta, con valores de pH similares a los de carne refrigerada.

## INTRODUCCIÓN

La carne es un alimento complejo, por lo tanto, la evaluación de la calidad es una tarea compleja. Es bien sabido que las características fisicoquímicas y sensoriales de la carne están muy relacionadas por lo que estos parámetros deben ser evaluados para hacer predicciones integrales de la calidad de la carne. Sin embargo, los consumidores y procesadores suelen evaluar la calidad de la carne empíricamente, basando sus decisiones de compra en sus percepciones de color y el olor de la carne cruda. Esta práctica común puede subestimar la calidad y frescura de la carne. Esta subestimación es aún más probable cuando se evalúa la carne ovina debido a la falta de información sobre este tema (Martínez-Arellano, *et al.*, 2013).

Cuando la mayoría de la gente habla de calidad tienden a significar la calidad funcional que se refiere a los atributos deseables en un producto como el rendimiento, las propiedades tecnológicas y palatabilidad. Se consideraron rendimiento como la proporción de carne vendible y el tamaño del músculo y la forma, el color de la carne, el pH y la fuerza de corte como propiedades tecnológicas, y la textura y suavidad, jugosidad, sabor y olor como características de palatabilidad (Teixeira, *et al.* 2005).

La carne de ovino no es una carne de consumo frecuente en el menú del ama de casa. Es una carne que en el país se consume en pocos platillos:

- \* Barbacoa, el principal de ellos. Se consume sobre todo en el centro del país.
- \* Birria, sobre todo en el centro y norte del país.
- \* Al pastor, o las brasas. Centro y norte del país también.
- \* “Cabrito”, debido a la escasez y precio del cabrito, se ha extendido el uso de cordero lechal para preparar el “cabrito norteño”.
- \* Cortes finos, de menor incidencia en el mercado.

De estos platillos, resaltan la Barbacoa (90%) y el borrego al pastor como los de mayor consumo (Torrescano, *et al.*, 2009).

Debido a que la carne es un alimento altamente perecedero se requiere un método de conservación, uno de los más utilizados es la congelación, éste método permite prolongar la vida útil de los productos sin modificar notablemente sus características sensoriales, ya sea

que este procedimiento sea aplicado a una canal entera, a piezas sueltas o a platos cocinados. La congelación, por así decirlo, facilita la distribución de los alimentos y contribuye a aumentar los intercambios comerciales permitiendo aplazar el periodo de uso y de consumo del producto desde su producción. Sin embargo la carne, incluso en su estado de congelación, no es una materia inerte. Sufre varias modificaciones en su estructura y reacciones bioquímicas durante la congelación, propiamente dicha, durante la fase de conservación en congelación y posteriormente durante la descongelación (Genot, 2003). La congelación y descongelación influye principalmente la fracción de agua de la carne. Puesto que el agua está contenida dentro de y entre las fibras musculares de la carne, los compartimentos se crean en el tejido, lo que complica el proceso. Como el agua se congela, la concentración de los solutos restantes (proteínas, hidratos de carbono, lípidos, vitaminas y minerales) aumenta, interrumpiendo así la homeostasis del sistema complejo de carne (Leygonie, *et al.*, 2012).

## CAPÍTULO 1 MARCO TEORICO

### 1.1. CARNE

La NOM-194-SSA1-2004 define la carne como la estructura muscular estriada esquelética, acompañada o no de tejido conectivo, hueso y grasa, además de fibras nerviosas, vasos linfáticos y sanguíneos; proveniente de los animales para abasto, que no ha sido sometida a ningún proceso que modifique de modo irreversible sus características sensoriales y fisicoquímicas; se incluyen las refrigeradas o congeladas.

La FAO (2008) dice que, es el producto pecuario de mayor valor. Posee proteínas y aminoácidos, minerales, grasas y ácidos grasos, vitaminas y otros componentes bioactivos, así como pequeñas cantidades de carbohidratos. Desde el punto de vista nutricional, la importancia de la carne deriva de sus proteínas de alta calidad, que contienen todos los aminoácidos esenciales, así como de sus minerales y vitaminas de elevada biodisponibilidad.

La composición química de la carne es muy variada según la especie, raza, sexo, alimentación, etc. En el cuadro 1 se presenta la composición química de la carne de algunas especies.

*Cuadro 1. Composición química de carnes de diferentes especies de animales*

| Tipo de carne | Agua % | Proteínas % | Grasa % | Minerales % |
|---------------|--------|-------------|---------|-------------|
| Vacuno        |        |             |         |             |
| *Magro        | 66.0   | 18.8        | 13.7    | 1.0         |
| *Semigrasa    | 60.0   | 17.5        | 21.7    | 0.9         |
| *Grasa        | 55.9   | 16.3        | 28.7    | 0.8         |
| Cerdo         |        |             |         |             |
| *Magra        | 50.0   | 14.1        | 35.0    | 0.8         |
| *Semigrasa    | 42.0   | 11.9        | 45.0    | 0.6         |
| *Grasa        | 35.0   | 9.8         | 55.0    | 0.5         |
| Carnero       |        |             |         |             |
| *Magra        | 69.0   | 18.2        | 12.5    | 1.0         |
| *Semigrasa    | 56.3   | 16.4        | 26.4    | 0.8         |
| *Grasa        | 46.4   | 13.0        | 39.0    | 0.7         |
| Pollo         | 72.7   | 20.6        | 5.6     | 1.1         |
| Pato          | 63.7   | 18.1        | 17.2    | 1.0         |
| Pavo          | 58.4   | 20.1        | 20.2    | 1.0         |
| Conejo        | 69.6   | 20.8        | 7.6     | 1.1         |
| Ternera       | 74.5   | 22.2        | 2.3     | 1.1         |

Fuente: (Santos, 1995).



Otro factor que determina la composición de la carne son la edad y la alimentación (Santos, 1995).

La carne se constituye fundamentalmente de tejido muscular esquelético, que representa alrededor del 40-50% del peso de la canal de ganado vacuno, ovino y porcino, la cual equivale por término medio al 50, 55 y 75% del peso vivo, respectivamente (López & Casp, 2004).

## 1.2. FACTORES QUE AFECTAN LOS CAMBIOS DE MÚSCULO EN CARNE

### 1.2.1. BIENESTAR ANIMAL

El bienestar animal está basado tanto en la ética humana como en la productividad. Los animales estresados, con dolor o con malestar, sin alimento o agua inadecuados, no producirán a su máximo potencial. Es por lo tanto esencial que las necesidades básicas de bienestar se cumplan. El bienestar animal correcto se reconoce como:

- \* Libre de hambre y sed.
- \* Libre de malestares.
- \* Libre de dolor, heridas o enfermedades.
- \* Libre para expresar el comportamiento normal.
- \* Ausencia de miedo o ansiedad (FAO, 2007).

### 1.2.2. ANTE-MORTEM

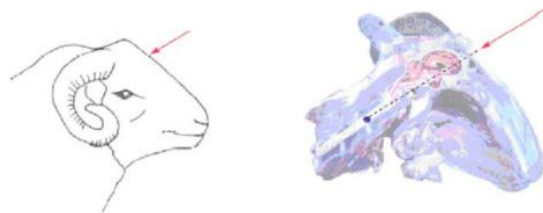
El estado de los animales puede cambiar considerablemente durante cortos periodos de tiempo, que transcurren desde el momento en que alcanzan el peso deseado por el productor y el momento del sacrificio, tanto si se transporta al matadero en vehículos como si se conduce por su propio pie. En ambos casos pierden peso y sufren lesiones. Si los animales se transportan en vehículos pueden ocurrir casos de asfixia por ventilación insuficiente. Maltratar a los animales antes del sacrificio no sólo es inhumano, sino que además reduce la calidad de la carne (Lawrie, 1977).

Los animales descansados tienen menos organismos perjudiciales que los animales que han sido sometidos a estrés por viajes, hambre pobres condiciones de estabulación, lucha, etc. El cansancio antes del sacrificio puede también producir un alto pH *post-mortem*, que estimulará el crecimiento microbiano incontrolado (Ranken, 2003).

### 1.2.3. TRANS-MORTEM

Para obtener carne de buena calidad y conservabilidad, es fundamental extraer de la canal cuanta sangre sea posible, ya que en otro caso la sangre residual determina un aspecto desagradable y además constituye un excelente medio de cultivo para los microorganismos. Tanto el proceso de insensibilización como el desangrado tienen una gran importancia (Lawrie, 1977).

- \* **Aturdimiento de proyectil cautivo.** El aturdimiento con bala cautiva es empleado ampliamente en todas las especies de rumiantes. Para impulsar la bala cautiva y hacerla atravesar el cráneo de los animales se usan cartuchos explosivos (detonadores), aire comprimido o muelles (figura 1).



*Figura 1. Posición correcta de la pistola de proyectil cautivo*

Fuente: (FAO, 2008)

El proyectil cilíndrico cautivo penetrante que es expulsado a una velocidad de 73 m/s, tiene un extremo circular aguzado que es proyectado al interior del cerebro del animal provocando la destrucción del cerebro, aumenta la presión intracraneal y vuelve inconsciente al animal (López & Casp, 2004).

- \* **Desangrado.** Una vez que los animales han sido aturridos, el desangrado debe comenzar tan pronto como sea posible y en cualquier caso antes de que el animal recobre la conciencia. El intervalo deseable entre el aturdimiento y el degüello debe ser de 20 segundos aproximadamente (López & Casp, 2004). El desangrado de vacas y ovejas se realiza seccionando la arteria carótida y la vena yugular. Si el cuchillo penetra demasiado, la sangre se puede acumular debajo de la escápula y la carne se descompone precozmente. Para evitar la entrada de los microorganismos, el corte deberá ser lo más pequeño posible (Lawrie, 1977).

#### 1.2.4. POST-MORTEM

La velocidad de los cambios *post-mortem* producidos en la carne influyen: el estrés al que ha sido sometido el animal antes de su muerte, el corte prematuro o incorrecto de los músculos o el enfriamiento rápido (Robinson, 1991).

#### 1.2.5. RIGOR-MORTIS

El *rigor mortis* se debe a la formación de enlaces cruzados permanentes, entre los filamentos delgados y gruesos del músculo, siendo el mismo mecanismo que cuando sucede la contracción del músculo del animal vivo (Santos, 1995).

Tras la muerte del animal se agotan paulatinamente las reservas de ATP (adenosin trifosfato) en los músculos se transforma en ADP (adenosin difosfato) y AMP (adenosin monofosfato) con la liberación de energía que causa la contracción (Ranken, 2003).

Según Lawrie R. (1984), inmediatamente después de que se sacrifica un animal bien descansado, sus músculos contienen ATP, creatin-fosfato y su pH es de 6.7 a 7.2., el músculo en estado de *pre-rigor* es extensible y se puede estirar de modo reversible hasta el 130-140% de su longitud en reposo. En el músculo vivo el ATP esta siendo constantemente resintetizado para mantener el metabolismo en reposo, pero cuando se interrumpe el suministro de sangre portadora de oxígeno, el músculo entra en anaerobiosis y no puede entonces mantener el nivel de ATP mediante fosforilación oxidativa. Al principio, el nivel de ATP muscular se mantiene por conversión de ADP en ATP a expensas del creatin-fosfato, y cuando este ultimo se agota la concentración de ATP desciende. La pérdida de ATP también desencadena la conversión anaerobica de glucógeno en lactato con el consiguiente descenso del pH de 7.2 a 5.5 pasadas 24 horas. Cuando los niveles de ATP descienden a valores inferiores de 0.1  $\mu\text{mol/g}$ , los filamentos de miosina de la miofibrilla forman enlaces con los filamentos de actina que los solapan y el músculo pierde su extensibilidad y entra en fase de *rigor*.

La diferencia entre la contracción muscular cuando el animal está vivo, y el *rigor mortis*, es que en el último el relajamiento es imposible, ya que no se dispone de energía, y la relajamiento muscular necesita ATP para que suceda (Santos, 1995).

### 1.2.6. MADURACIÓN

Según Bianchi, *et al.* (2008), después del sacrificio, el músculo sufre una serie de transformaciones bioquímicas conocidas globalmente bajo el término de maduración y que afectan a la estructura de las miofibrillas (ruptura de la estructura muscular a nivel de la línea Z) dando como resultado una mayor ternura de la carne. Se pueden producir también modificaciones en el estado químico de la mioglobina, alterando el color de la carne (figura 2).

El proceso que consiste en mantener la carne fresca a una temperatura superior al punto de congelación se denomina maduración y durante el mismo la carne se hace más tierna y aromática. Durante las primeras 24-36 horas de este proceso el principal cambio experimentado por la carne es la glucólisis *post-mortem* (Lawrie, 1977).

Prandl, *et al.*, (1994) describe la maduración como, la transformación de las proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas, donde la actomiosina que se encuentra en estado no disociado durante la rigidez cadavérica, es en cierta medida liberada dentro de la estructura miofibrilar. Los cambios de estado de la actomiosina se manifiestan con modificaciones de la solubilidad. Antes de la aparición de la rigidez cadavérica, la posibilidad de solubilizar y de extracción de la actomiosina son soluciones salinas de elevada fuerza iónica y en la solución aparece principalmente miosina. Cuando se establece la rigidez cadavérica, la posibilidad de extracción se reduce al 75%, pero tras el almacenamiento consiguiente a 2°C se alcanzan los valores de extracción presentados antes del *rigor mortis* o incluso son superados. En esta fase se extrae junto con la actomiosina, la actina y la tropomiosina. Por el tipo de proteína extraída puede deducirse que después de establecerse el *rigor mortis* ya no es posible la separación de actomiosina, puesto que no existe en la carne ningún polifosfato capaz de separar miosina y actina. Sin embargo, las proteínas miofibrilares resultan liberadas por otros procedimientos de la rígida estructura miofibrilar, puesto que los filamentos de actina son desprendidos del disco Z. este fenómeno podría iniciarse a través de los iones  $Ca^{2+}$  liberados del retículo sarcoplásmico. La extracción de las proteínas miofibrilares está, también, condicionada por el pH final y por la temperatura.

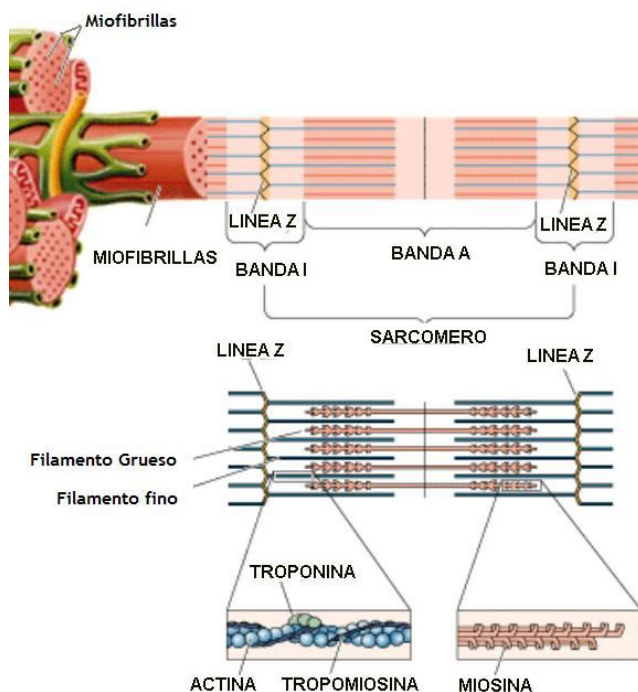


Figura 2. Composición de las fibras musculares

Fuente: <http://alucinamedicina.com/tag/miofibrillas/>, 2013

#### 1.2.6.1. ACORTAMIENTO POR FRÍO

El fenómeno de "acortamiento por frío" o *cold shortening* ha sido descrito como un rápido descenso de temperatura a menos de 10 °C, cuando el pH aún se encuentra en valores superiores a 6 (Bianchi, *et al.* 2008). El acortamiento por frío está relacionado con la eliminación de  $\text{Ca}^{2+}$  del retículo sarcoplásmico y con la rigidez muscular que de ella resulta (Santos, 1995; Garcia *et al.*, 2004).

Cuando la temperatura de la carne desciende rápidamente después de la muerte, se produce un fuerte incremento de la concentración de iones  $\text{Ca}^{2+}$  en el sarcoplasma; el retículo sarcoplásmico y las mitocondrias de la fibra muscular pierden parte de su capacidad para retener  $\text{Ca}^{2+}$ , con lo cual aparece un exceso del catión en el espacio intracelular y se aceleran los fenómenos *post-mortem*; los iones  $\text{Ca}^{2+}$ , procedentes de la mitocondria y el retículo sarcoplásmico, se acumulan en el sarcoplasma y en consecuencia se activa la actiomiosin-ATP-asa. Las fibras musculares rojas (más ricas en mioglobina) es más propensa a sufrir este proceso que las fibras blancas (pobres en mioglobina), esta predisposición de los músculos rojos para sufrir el acortamiento por frío, podría deberse a que poseen mayor número de mitocondrias que los músculos blancos (López & Casp, 2004).

El acortamiento por frío se produce en la carne de ternera, oveja y pavo (Robinson, 1991). En las canales de oveja suspendidas por el agujero pelviano antes de la primera hora después del sacrificio (“tender stretched”) los músculos correspondientes a los cuartos traseros se hallan extendidos. Esta operación evita el acortamiento por frío y el consecuente endurecimiento de estos músculos, produciendo así canales de ternura más homogénea (Lawrie, 1984).

### 1.3. FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA CARNE

La calidad de la carne es el resultado de factores intrínsecos y extrínsecos de esta, los cuales se interrelacionan, afectando a la vez las características químicas y fisicoquímicas. Las prácticas de manejo *ante-mortem* incide directamente en los valores de reserva de energía del cuerpo. Todo estrés debido a excitación, hambre o ejercicio severo, causa elevación del pH, aumenta la capacidad de retención de agua y provoca sabores y olores desagradables, además, conduce a importantes cambios fisiológicos; uno de los más importantes es la disminución de glucógeno muscular (Bolado, *et al*, 2013).

Existe un gran número de factores que pueden afectar a la calidad de la canal. Unos son dependientes del animal (intrínsecos): raza, sexo, edad y otros del manejo al que han sido sometidos en la explotación (extrínsecos): ejercicio, condiciones medio ambientales, alimentación, y otros debidos al proceso que sigue el animal desde su transporte al sacrificio hasta su conversión en carne: transporte, sacrificio, refrigeración y maduración (Torrescano, *et al.*, 2009).

#### 1.3.1. FACTORES INTRÍNSECOS

##### 1.3.1.1. RAZA

En ovinos han sido señaladas diferencias atribuibles al componente genético, pero sobre todo asociadas a la presencia del gen *Callipyge* (animales de doble musculatura), donde ha sido claramente documentada la incidencia de carne más dura. Aunque también se han reportado diferencias en la carne de animales puros y cruza con razas carniceras, registrándose carne más blanda, particularmente cuando las razas utilizadas en el cruzamiento son de engrasamiento temprano (por ejemplo: Hampshire Down y sobre todo Southdown). A su vez y dentro de los factores genéticos, también se han encontrado diferencias hacia el interior de las razas evaluadas (es decir entre padres), sugiriendo cierta variabilidad para esta importante

características y posibilidades ciertas de mejora a través de la selección (Bianchi, *et al.*, 2008).

#### 1.3.1.2. SEXO

Respecto al efecto del sexo, los machos enteros y criptórquidos tienden a presentar carne más dura que la de sus similares hembras, particularmente una vez alcanzada la pubertad (Bianchi, *et al.*, 2008). En general, los machos poseen menos grasa intramuscular que las hembras, y los individuos castrados de cada uno de los sexos más que los correspondientes animales enteros (Lawrie, 1977).

#### 1.3.1.3. EDAD

En general, al aumentar la edad aumentan casi todos los parámetros químicos, a excepción del agua. La velocidad de aumento de los diversos compuestos es, sin embargo, diferente de unos músculos a otros, siendo también diferente el tiempo que tarda cada uno de los componentes en alcanzar el valor final. Por ejemplo, en el músculo *longissimus dorsi* de los bóvidos las fracciones nitrogenadas correspondientes a las proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas ya han alcanzado el 70-80% de su valor final en el momento de nacer el animal, y aproximadamente a los 5 meses su velocidad de aumento se hace asintótica respecto a la edad. El nitrógeno no proteico en cambio, no alcanza el valor final hasta alrededor de los 12 meses. La concentración de mioglobina aumenta rápidamente durante los primeros 24 meses (Lawrie, 1977).

La edad ejerce también su influencia sobre la dureza de la carne, ya que conforme avanza la edad del animal se incrementa el número de uniones de las moléculas de tropocolágeno en las zonas donde se entrecruzan, haciéndose cada vez más estables, particularmente cuando se consideran rangos de edad muy amplios (Bianchi, *et al.*, 2008).

### 1.3.2. FACTORES EXTRÍNSECOS

#### 1.3.2.1. TRANSPORTE

El uso de vehículos adecuados para el transporte del ganado tiene como objetivo: reducir el estrés y minimizar los accidentes que llegarán a afectar la integridad física y salud de los animales, así como la calidad de la carne que de ellos se obtiene. El vehículo deberá estar diseñado para asegurarse que el ganado se mantenga de pie dentro de éste; evite que el ganado saque la cabeza y los miembros por los laterales o por encima del vehículo y procure que viaje en una posición natural (SAGARPA, 2009).

### 1.3.2.2. REPOSO

Los mataderos deben tener corrales de espera adecuados para recibir a los animales. Estas instalaciones, pueden ser cubiertas, descubiertas, o donde sea apropiado, un campo abierto. El diseño debe ser el apropiado para evitar lesiones a los animales; los corrales deben tener instalaciones de drenaje para heces y para orina y el diseño debe permitir la limpieza entre los grupos de animales. Deben mantenerse al mínimo los ruidos de maquinaria, gente y equipos (FAO, 2007).

La NOM-009-ZOO-1994 establece que los animales deben estar en reposo dentro de los corrales de espera; para los ovinos se estima un tiempo de reposo entre 24-72 h.

### 1.3.2.3. ESTRÉS

El estrés puede ser provocado en las horas previas a la matanza del ganado e incluye las condiciones y prácticas que se aplican durante el periodo cuando el animal es movilizado de la granja hasta entrar al cajón inmovilizador inmediatamente antes del aturdimiento. Durante el manejo *ante-mortem*, existen dos factores, que afectan en mayor proporción a la canal: la deshidratación y el hambre en los ovinos cuando son trasladados directamente de la granja a la planta de matanza; involucran la actividad física y en consecuencia la fatiga. Se entiende que durante el tiempo previo a la matanza, los animales son sometidos a actividad física adicional, debido al incremento en el manejo y movimiento particularmente durante el transporte si el espacio es insuficiente para echarse, así como en el tiempo de permanencia en los corrales de espera, que en suma tendrá repercusiones en la concentración de glucógeno muscular y potencialmente en los valores de pH (Bolado, *et al.* 2013).

## 1.4. PROCESOS BIOQUÍMICOS

### 1.4.1. GLICÓLISIS ANAEROBIA

El glucógeno es el principal carbohidrato de reserva del músculo, aunque éste es un polisacárido formado por unidades de glucosa, el glucógeno de algunos tejidos animales es proteoglicano (glicoproteína) que puede contener otros monosacáridos y ésteres de fosfato (Swatland, 2003).

La fuente mayor de suministro de ATP al músculo, es pérdida después de la muerte del animal, debido a que el glucógeno no es oxidado completamente a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O (Santos, 1995).



La glicólisis *post-mortem*, debida al cese de la respiración en el tejido muscular, es anaerobia y por lo tanto el NADH ya no resulta oxidado y se acumula como el resultado de la oxidación continua del gliceraldehído-3-fosfato catalizada por la gliceraldehído fosfato deshidrogenasa (Robinson, 1991).

En el proceso, se produce una actividad de la ATP-asa no contráctil de la miosina, en lugar de la ATP-asa contráctil de la actomiosina, una consecuencia es que el sistema enzimático citocromo no puede actuar, con lo cual se imposibilita la resíntesis del ATP a partir de esta fuente. La acción continuada de la ATP-asa no contráctil de la miosina, reduce progresivamente el nivel de ATP produciendo simultáneamente fosfato inorgánico, que estimula la degradación del glucógeno a ácido láctico. La formación insuficiente de ATP por glicólisis anaerobia es incapaz de mantener el nivel de ATP; a medida que discurre la glicólisis del músculo se hace inextensible debido a que el descenso del nivel de ATP provocando la formación de actomiosina, determinante de dicha extensibilidad, es el endurecimiento llamado *rigor mortis* (López & Casp, 2004).

La reducida disponibilidad de ATP aumenta la dificultad de mantener la integridad estructura de las proteínas, contribuyendo también a ello la disminución de pH por acumulación de ácido láctico. El descenso de pH hace que las proteínas miofibrilares se aproximen a sus puntos isoeléctricos y frecuentemente la desnaturalización va acompañada de una reducida capacidad de retención de agua de las proteínas, estos dos fenómenos son causantes de la exudación (López & Casp, 2004).

La producción de ácido láctico cesa al alcanzar el pH de inactivación de las enzimas glicolíticas, que es de 5.4 a 5.5, o se termina el glucógeno (Santos, 1995).

El tipo de músculo tiene una considerable importancia en la velocidad de la glicólisis *post-mortem*. Los músculos rojos, adaptados para desarrollar actividades lentas y prolongadas, tienen un nivel mucho más alto de enzimas respiratorias que los músculos blancos, que están adaptados a una actividad rápida e intermitente, tienen los prerequisites para un eficiente metabolismo anaerobio (López & Casp, 2004).

La temperatura del músculo tiene una gran influencia en la velocidad de la glicólisis *post-mortem*, medida con el descenso del pH. Las temperaturas elevadas, de alrededor de 40°C, acelera el proceso, mientras que las bajas temperaturas retardan el descenso y es necesario

más tiempo para alcanzar valores de pH de 5.8. En el caso de la glicólisis *post-mortem*, sólo cuando no se consideren temperaturas muy bajas; a temperaturas musculares próximas a 0°C se observa, en el rango de pH 7-6.4, un descenso del mismo más rápido que temperaturas superiores, a partir de un pH de 6.4 el descenso es lento y gradual. Este hecho se encuadra dentro de un proceso *post-mortem* más amplio, denominado acortamiento por frío y se produce a temperaturas entre 0 y 5°C (López & Casp, 2004).

La producción de ácido láctico a partir del glucógeno, independientemente de la temperatura y de la velocidad de reacción, generalmente determina un pH final de 5.5, la carne normal siempre exuda determinada cantidad de jugos. La cantidad de exudado será menor si el pH final es elevado. Igualmente, cuando mayor sea la temperatura durante la glicólisis *post-mortem* tanto mayor será el grado de acortamiento de las proteínas miofibrilares durante la instauración del *rigor mortis* y tanto mayor el grado de precipitación de las proteínas sarcoplásmicas (Lawrie, Ciencia de la carne, 1977).

#### 1.4.2. MIOGLOBINA

El principal pigmento presente en la carne (miofibrillas) es la mioglobina, que es una proteína conjugada de color rojo, estructuralmente relacionada con la hemoglobina, que se encuentra en las células sanguíneas. La mioglobina es una proteína globular con estructura de  $\alpha$ -hélice, compuesta por un grupo “hemo” unido a una molécula de proteína (Santos, 1995).

El grupo hemo, que es la parte no proteica de la mioglobina, se compone de un anillo de porfirina plano y un átomo de hierro central. El átomo de hierro tiene seis puntos de enlace o unión de coordinación. Cuatro de éstos están ligados a átomos de nitrógeno; uno está unido a la molécula de globina; el enlace restante está libre para ligarse a otras sustancias, ordinariamente agua u oxígeno (figura 3) (Ranken, 2003).

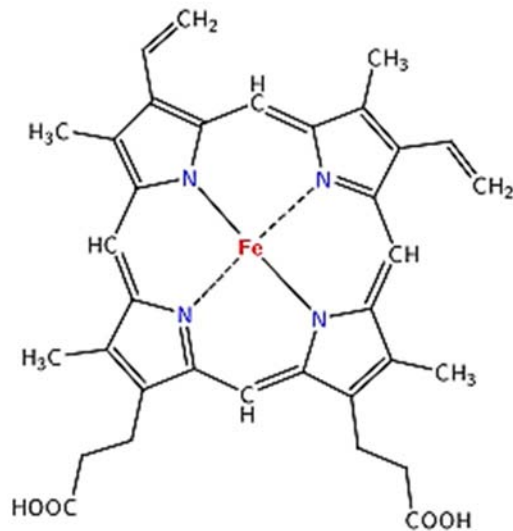


Figura 3. Grupo hemo de la mioglobina

Fuente: <http://www.chemgapedia.de/vsengine/glossary/de/porphyrin.glos.html>

El átomo de hierro puede encontrarse en forma reducida ( $\text{Fe}^{2+}$ , ferroso) u oxidada ( $\text{Fe}^{3+}$ , férrico); el pigmento correspondiente a la forma oxidada se denomina metamioglobina y en ella el átomo de hierro no puede combinarse con otras moléculas. Cuando el hierro se encuentra en forma reducida puede reaccionar con una molécula de agua dando lugar a la mioglobina propiamente dicha, o bien puede compartir electrones con el oxígeno molecular dando lugar a la oximioglobina (López & Casp, 2004).

Cada una de estas tres formas presenta un espectro de absorción distinto, la mioglobina tiene un máximo poco agudo a 550 nm, la oximioglobina y la metamioglobina presentan dos máximos, la primera a 542 y a 575 nm, mientras que la segunda a 505 y 627 nm. Esto hace que la mioglobina presente una tonalidad rojo púrpura, la oximioglobina un rojo vivo y la metamioglobina un tono pardo (López & Casp, 2004).

Entre las tres formas básicas del pigmento se establecen interrelaciones siendo posible la conversión reversible de unas a otras. La mioglobina se transforma en oximioglobina por fijación de oxígeno y viceversa, por desoxigenación. Así mismo, por oxidación del átomo de hierro de la mioglobina se forma de la misma forma a partir de oximioglobina. La reducción de metamioglobina origina mioglobina u oximioglobina si va acompañada de fijación de oxígeno (figura 4) (López & Casp, 2004).

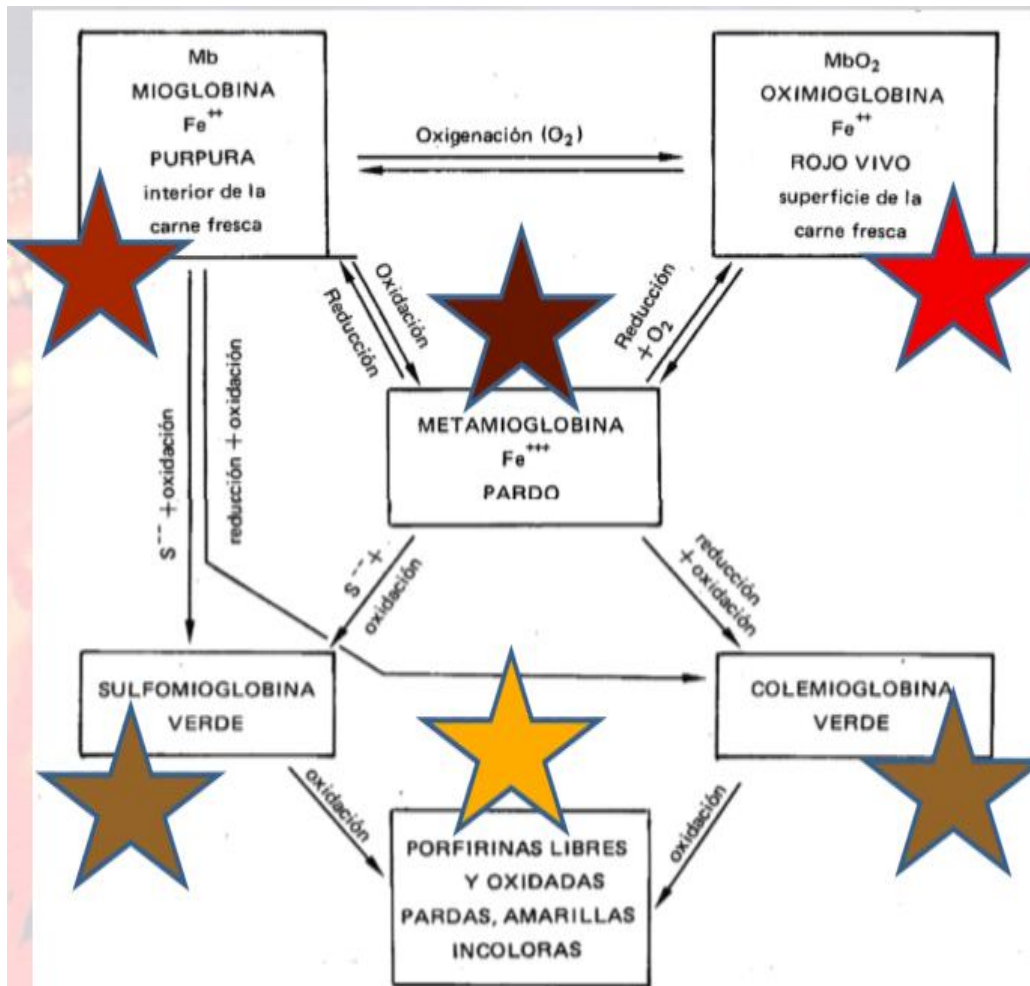


Figura 4. Transformación de la mioglobina

Fuente: <http://www.ipcva.com.ar/files/envasado/Adriana%20pazos.pdf>, 2009

La estabilidad de la mioglobina en el tejido muscular, depende de la especie animal, de las características bioquímicas del músculo y de algunos parámetros externos como la presión parcial del oxígeno y la temperatura. Entre las características bioquímicas, el tipo metabólico de las fibras musculares y el pH son los parámetros más importantes (Genot, 2003). Los músculos rojos poseen una mayor proporción de fibras finas y ricas en mioglobinas, mientras que en los blancos predominan las fibras gruesas y con menos concentración de mioglobina (López & Casp, 2004).

Cuando el pH final de la carne es elevado aumenta la actividad de las enzimas citocromo. Por otra parte, debido a que las proteínas del músculo se encuentran en dichas circunstancias a un pH considerablemente por encima de su punto isoelectrico, gran

parte del agua del músculo se halla aún ligada a ellas y, por tanto, las fibras están fuertemente comprometidas unas contra otras, oponiendo una barrera a la difusión. Como resultado de los dos factores mencionados, la capa de oximioglobina da color rojo brillante será muy delgada y existirá un predominio de mioglobina de color rojo púrpura que imparte un aspecto oscuro a la carne (Lawrie, 1977).

### 1.5. DEFECTOS DE LA CARNE

El pH del músculo vivo se encuentra algo por encima del punto neutro (pH 7.2). Luego del faenado (*post-mortem*) se producen en la carne procesos de degradación bioquímica. Este proceso se conoce como glucólisis, el cual forma ácido láctico.

Debido a la formación de ácido láctico disminuye el pH de la carne. Normalmente la glicólisis se desarrolla lentamente y el pH disminuye en el transcurso de 24 horas, a un pH final de 5.8. Si en cambio la glucólisis se desarrolla muy rápidamente, donde el pH llega dentro de los 45 minutos a valores inferiores a 5.8, entonces esto es un indicio de que se está en presencia de carne PSE. Por otro lado existen casos en los que, debido a una deficiencia del glucógeno, se produce sólo una pequeña disminución del pH en la carne. Si en este caso el pH permanece aún después de 24 horas por encima de 6.2 entonces se tiene una carne DFD (Hofmann, 1988).

#### 1.5.1. DFD (dark, firm, dry)

Es carne con pH alto tras 24 h desde el sacrificio, debido a que el animal sufrió un estrés prolongado antes del sacrificio y provocó que se agotaran las reservas de glucógeno, por lo que no hay energía y el ácido láctico se agota, aumentando con esto la capacidad de retención de agua en niveles de 5:1 (Angeles, 2006).

Para los animales acostumbrados a moverse en libertad, las operaciones de captura, carga y transporte representan una situación de sobreexcitación y de mayor actividad muscular que no siempre es considerada. Se supone que los esfuerzos musculares cortos y apenas apreciables, realizados por los animales temperamentales, son suficientes como para conducir los niveles de glucógeno muscular a valores muy bajos. Todo ello conduce a una aceleración, *ante-mortem*, en el consumo de ATP y glucógeno. Las sustancias liberadas de la degradación tanto aerobia como anaerobia del glucógeno (CO<sub>2</sub>, ácido láctico) son, antes de la muerte, arrastradas por el torrente circulatorio. Por todo ello, cuando se lleva a cabo el sacrificio del animal, en el músculo puede permanecer una pequeña cantidad de glucógeno o

haberse previamente consumido en su totalidad; esta situación conduce a un estado *post-mortem* en el que no existe o es mínima la producción de ácido láctico, y por lo tanto la acidificación de la carne es deficiente. El aspecto seco, duro y pegajoso de la superficie de corte de esta carne, así como su color rojo oscuro es debido a la escasa acidificación (Prandl, *et al.*, 1994).

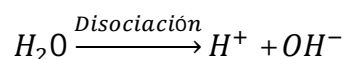
### 1.5.2. PÁLIDA SUAVE EXUDATIVA (PSE)

La carne PSE presenta un defecto que se asocia a una mayor velocidad de la glicólisis en los primeros momentos *post-mortem*, mientras la temperatura de la canal se mantiene alta, la caída rápida del pH causa la desnaturalización de las proteínas sarcoplásmicas que precipitan sobre las proteínas miofibrilares, produciéndose así una pérdida en la capacidad de retención de agua (Angeles, 2006). La desnaturalización de las proteínas sarcoplásmicas es mayor en la carne PSE, como consecuencia de la combinación de un bajo pH y una temperatura elevada (Prandl, *et al.* 1994).

### 1.6. pH

El pH de la carne es una de las principales características que determinan la calidad del producto y está influida por un sinnúmero de factores que pueden interactuar entre sí determinando la velocidad de descenso y pH final. Este rasgo es el factor principal en determinar las características organolépticas: color, olor y terneza de la carne, además de afectar la capacidad de retención de agua (jugosidad) de la carne (Bianchi, *et al.*, 2008).

Para explicar lo que es el pH; lo más sencillo es partir del agua pura. El agua (H<sub>2</sub>O) se descompone en una muy pequeña parte en iones hidrógeno, H<sup>+</sup> e iones OH<sup>-</sup>. Esta descomposición que se produce espontáneamente, la denominamos disociación:



La concentración de los iones H<sup>+</sup> en el agua pura es muy pequeña y es del orden 0.0000001g por litro. Esta cifra también puede ser expresada de manera más sencilla: 0.0000001=10<sup>-7</sup>.

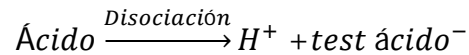
El procedimiento matemático para llegar de la cifra 10<sup>-7</sup> al número 7, es el logaritmo (log). Se escribe log (de)=-7. Mediante multiplicación de esta ecuación por -1, obtenemos;

$$+7: -\log 10^{-7} = 7$$

Si cambiamos la concentración especial ( $10^{-7}$ ) por la concentración general de iones hidrogeno  $[H^+]$ , entonces se obtiene la expresión  $-\log [H^+]$ , lo cual se define como pH:

$$pH = -\log[H^+]$$

Los ácidos son sustancias que elevan la concentración de iones hidrógeno en el agua, debido a que ceden iones  $H^+$ , en una medida mucho mayor que el agua.



La escala de pH va de 0 a 14. Pero para la carne resulta de importancia el rango relativamente estrecho de pH 5-7 (Hofmann, 1988).

El pH *post-mortem* de la carne depende de la cantidad de ácido láctico producidos a partir del glucógeno durante la glicólisis anaerobia. La cantidad de ácido láctico producido será menor cuando se ha reducido la cantidad de glucógeno por la fatiga, ayuno o excitación de los animales antes del sacrificio. Puesto que el pH tiene gran importancia en el crecimiento microbiano, es natural que el pH final de la carne sea uno de los principales factores determinantes de la conservación. El pH óptimo para el crecimiento de la mayoría de las bacterias se halla próximo a 7, no creciendo a valores de pH inferiores a 4 o superiores a 9. Sin embargo, el pH a que tiene lugar el máximo crecimiento depende también de otros factores que nada tienen que ver con la acidez y alcalinidad (Lawrie, 1977).

#### 1.6.1. DETERMINACIÓN DE pH CON ELECTRODO DE BULBO

La medición de pH mediante un electrodo de bulbo, se basa en el registro de una medición electroquímica, un “potencial”, que se origina entre un electrodo de medición y uno de referencia. El electrodo de medición para determinar el pH es el electrodo de bulbo. Su potencial individual, y con ello la diferencia de potencial medible con respecto al electrodo de referencia, está determinado por la concentración de iones hidrógeno de la solución en la que se encuentra.

La composición de un electrodo de bulbo, en la forma de una columna es representada en la figura 5. En este tipo se encuentran los electrodos de medición y de referencia en conjunto.

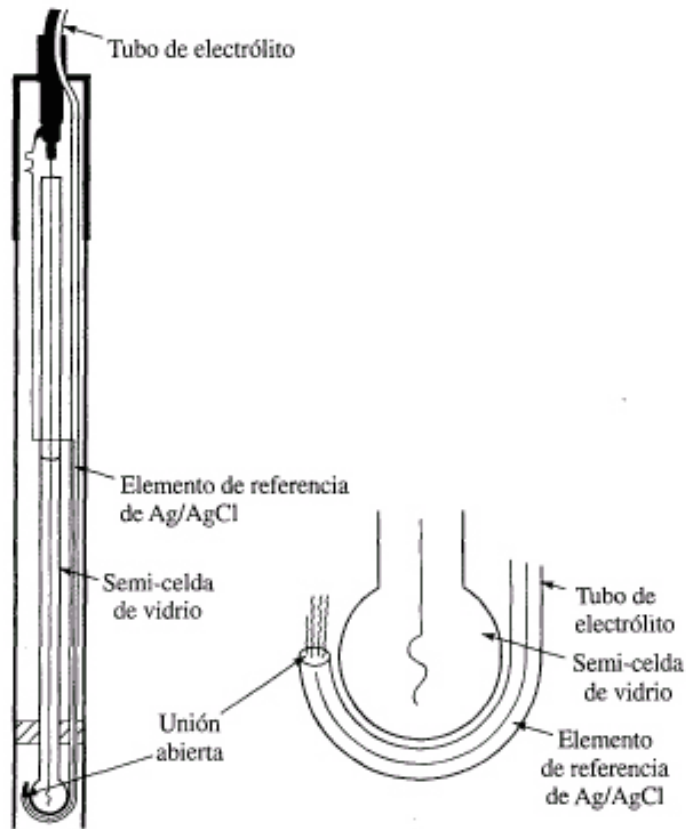


Figura 5. Composición de un electrodo de vidrio combinado

Fuente: <http://mazinger.sisib.uchile.cl/>

La parte más importante del electrodo de vidrio es la membrana, cuya forma puede ser en punta o como membrana plana. La membrana es sensible a los golpes. Su correcta función depende de que se encuentre embebido continuamente (por ello se debe mantener el extremo inferior en solución buffer pH 7) (Hofmann, 1988).

### 1.7. COLOR

En el lenguaje coloquial se suelen asociar los colores con objetos o cosas. Los estímulos de color provocan complejos procesos en la retina y en los centros cerebrales de la vista y del habla. La aceptación agradable del color de un alimento es esencial para que se produzca el acto de compra y para que el mismo se consuma con agrado (Prandl, *et al.* 1994).

La percepción de un objeto y la identificación del color del objeto que implica una compleja serie de circunstancias que consiste en el objeto, su entorno, y el detector que percibe el objeto y traduce los estímulos en una percepción del color. Para percibir el color, un detector



capaz de esta percepción es necesario. Ese detector puede ser el ojo humano o instrumentación tal como un colorímetro o espectrofotómetro.

### 1.7.1. TEORÍA DEL COLOR

Si un rayo estrecho de luz blanca pasa a través de un prisma de cristal, se descompone en una banda como el arcoíris de colores de diferentes longitudes de onda, demostrando que la luz blanca es de hecho una combinación de todos los colores del espectro (Ranken, 2003).

La luz visible es una parte del espectro electromagnético, que se define por las longitudes de onda de energía y emisión incluye, radar, infrarrojos, ultravioleta, rayos X, rayos gamma y rayos cósmicos. Sin embargo, los seres humanos sólo pueden detectar la luz en el espectro visual, que va desde 390 hasta 750 nm. En este estrecho rango del espectro electromagnético, el ojo tiene la capacidad y el cerebro de la capacidad para separar las longitudes de onda en grupos de color. Por ejemplo, el color rojo se asocia con la luz de aproximadamente 650 a longitudes de onda de 700 nm. El color verde se asocia con aproximadamente los 490 y 575 nm, y azul se asocia con longitudes de onda entre 455 y 490 nm (figura 6) (American Meat Science Association, 2012).

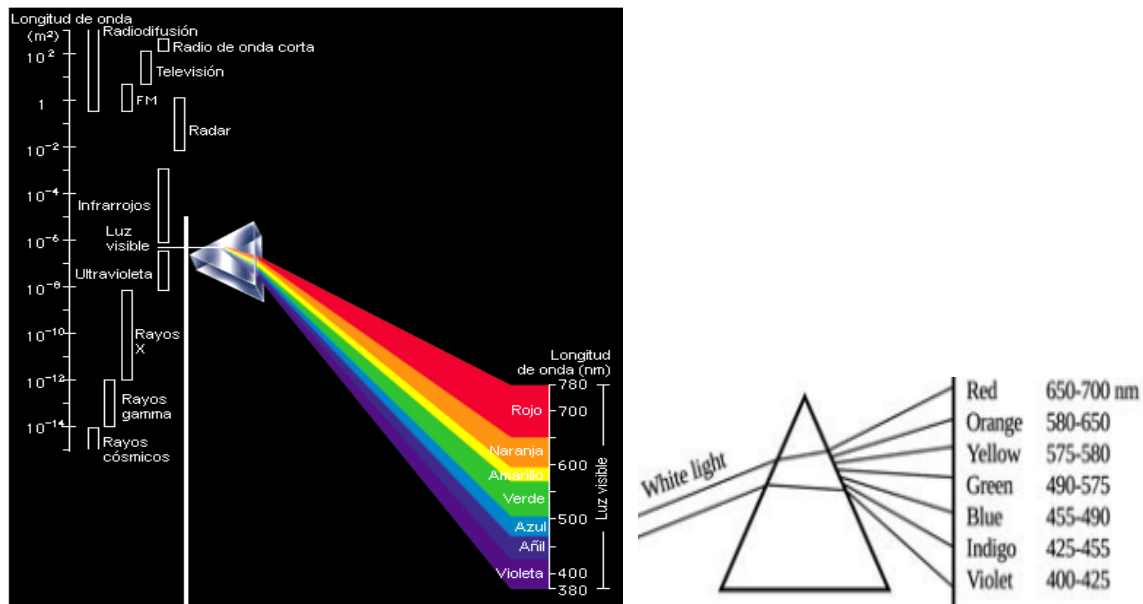


Figura 6. Luz blanca dividida en sus componentes

Fuente: (American Meat Science Association, 2012) (Konika-Minolta, 2012)

Un objeto absorbe, cuando incide sobre él una luz blanca, unas determinadas longitudes de onda en función del color del que sea. La parte de la luz que no es absorbida se refleja y no aparece un color: determina el color del objeto. La luz que percibimos como color y la luz que es absorbida por el objeto son complementarias, mezcladas dan lugar a la luz blanca. De ello se deduce que un objeto que vemos blanco refleja la totalidad de las ondas, mientras que un objeto negro las absorbe todas (Prandl, *et al.*, 1994). La carne fresca parece roja porque las materias colorantes naturales absorben todos los colores excepto el rojo, que se refleja (Ranken, 2003).

### 1.7.2. MODELO DE COLOR CIELAB ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ )

El modelo CIELAB se usa habitualmente para describir todos los colores que puede ver el ojo humano (LACIE). En este sistema, las diferencias de color se percibe corresponden a las distancias cuando se mide (colores más vivos, más saturación). Alrededor de la periferia son los colores primarios rojo, verde y azul y las correspondientes longitudes de onda de la luz visible asociada con esos colores. El diagrama de cromaticidad permitió trazar coordenadas de x y los valores de color y para determinar el color (matiz) y la saturación (intensidad) de color colorimétricamente. El eje se extiende desde un verde (- a) a rojo (+ a) y el eje b de azul (- b) a amarillo (+ b). El brillo (L) aumenta desde el fondo hasta la parte superior del modelo tridimensional (American Meat Science Association, 2012).

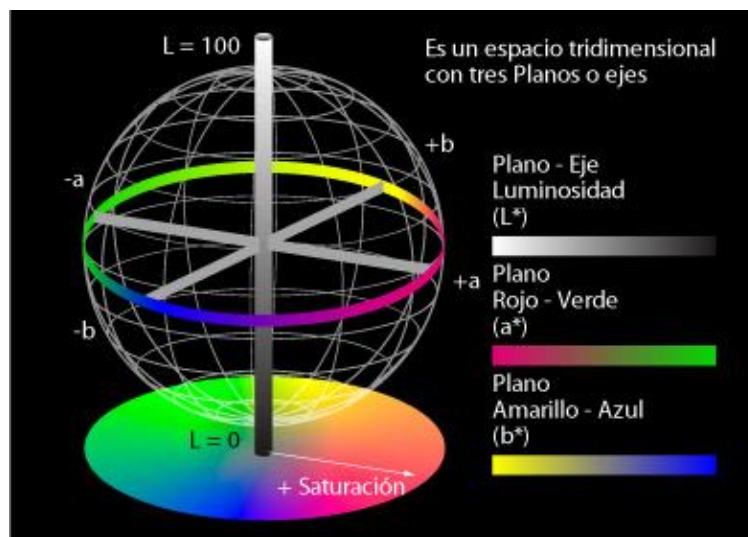


Figura 7. Modelo de color CIELAB

Fuente: (LACIE)

Para el espacio de color, valores de  $a^*$  se representan en el eje X, los valores de  $b^*$  en el eje Y y los valores de  $L^*$  en el eje Z. En el centro del espacio de color es gris neutro. A lo largo del eje X,  $a^*$  positiva representa rojo, y una negativa  $a^*$  representa verde (escala de 60 para el rojo y -60 para el verde). A lo largo del eje Y,  $b^*$  positivo representa amarilla y una  $b^*$  negativo representa azul (escala de 60 para el amarillo y -60 para el azul). La tercera dimensión de  $L^*$  se representa numéricamente donde 100 es blanco, y 0 es negro (Figura 7). En este espacio de color,  $a^*$  y  $b^*$  Los valores se pueden trazar para establecer el color o el tono de una muestra de carne (Figura 8). Usando el valor de  $L^*$ , claridad u oscuridad de la muestra se puede determinar. Por lo tanto, el uso de funciones trigonométricas, el ángulo incidente de una muestra se desvía del eje X se puede calcular para determinar el ángulo de tono (color) de la muestra, y la distancia de la muestra desde el origen de las líneas de XYZ se puede calcular para determinar el saturación o intensidad de la muestra.

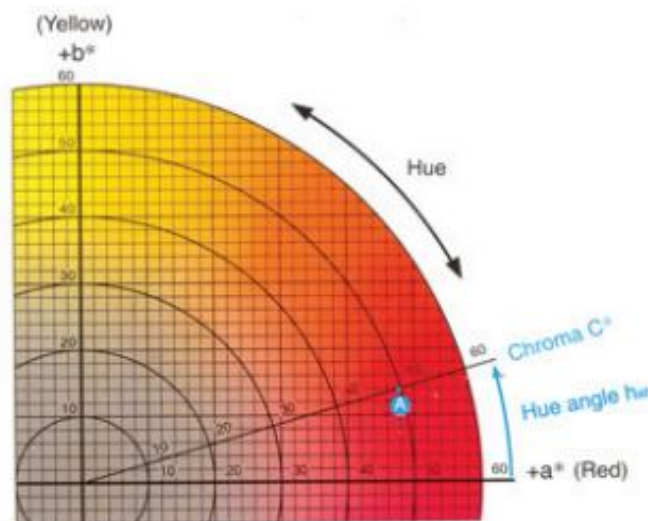


Figura 8. Ejemplo de ángulo de tono y cromía  $C^*$  (índice de saturación) en parte de un diagrama de cromaticidad

Fuente: (American Meat Science Association, 2012)

El ángulo Hue (h) se calcula como:

$$h = \text{arco tangente} \left( \frac{b^*}{a^*} \right)$$

La trama de  $a^*$  y  $b^*$  puntos y el ángulo correspondiente establecerá el color de la muestra. Del mismo modo, ya que los colores se hacen más vivos alrededor de la periferia del espacio de color, cuanto más lejos  $a^*$   $b^*$  puntos de la trama son desde el origen, más vivo será el color.

Croma (índice de saturación) también puede calcularse a partir del  $a^*$   $b^*$ :

$$C^* = \sqrt{a^* + b^*}$$

Con estos datos, las diferencias de color se pueden calcular y comparar objetivamente (American Meat Science Association, 2012).

Las diferencias de color que se perciben como iguales en este espacio de color tridimensional, tienen distancias iguales entre ellas. Esta diferencia se expresa mediante el valor delta-E ( $\Delta E$ ).

El delta-E permite medir los cambios de matiz y densidad. Es la descripción matemática de la distancia entre dos colores. Para calcular el delta-E de dos colores, se necesitan sus valores  $L^*a^*b^*$ . El delta-E es la distancia entre los dos puntos dentro del espacio de color  $L^*a^*b^*$ .

El observador medio sólo percibe diferencias superiores a 5 ó 6 delta-E. Sólo un ojo bien preparado percibe diferencias de 3 ó 4 delta-E. El ojo humano es mucho más sensible a los cambios en los niveles de gris y tonos medios. En esos casos, puede llegar a percibir hasta una diferencia de 0,5 delta-E (LACIE).

El  $\Delta E$  puede calcularse utilizando la fórmula:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

## 1.8. MÉTODOS DE CONSERVACIÓN

El objetivo de la conservación es impedir la acción de las causas internas y externas del deterioro, o al menos crear las condiciones mínimas necesarias para reducir este durante el periodo de tiempo que media entre la producción y el consumo del producto. Los métodos de conservación de la carne se dirigen principalmente a combatir los microorganismos. Lo que se pretende es destruirlos o, al menos, inhibir su actividad metabólica o reproductiva (Prandl, *et al.*, 1994).

Un animal sano tiene defensas naturales contra invasiones microbianas, considerándose entonces que la carne de animales recién sacrificados es estéril. La contaminación ocurre cuando hay contacto de la carne con paredes, suelos, utensilios o manipulación del material por los operarios, o si hay estallamiento de alguna víscera durante el manejo de la canal. Esta está relacionada con los periodos de procesamiento y almacenamiento (Garcia, *et al.*, 2004).

La causa de la descomposición de la carne y de sus productos deriva de la específica composición y estructura de estos. El organismo vivo constituye un complejo sistema biológico que se halla en equilibrio dinámico. Cuando dicho sistema se altera (sacrificio, transformación), se inicia inmediatamente el desdoblamiento autolítico de sus componentes (Jasper & Placker, 1978).

### 1.8.1. CONGELACIÓN

La congelación es la acción de someter un producto al frío de manera que provoque una transformación del agua que contiene a un agua en estado sólido. Esta operación tiene por objeto aumentar la vida útil del producto y, para ello, más del 80% del agua debe ser transformada en hielo (Genot, 2003).

Las carnes suelen recibir algún tratamiento previo a su congelación, en general están refrigeradas cuando pasan a la congelación, aunque también pueden venir del enfriamiento primario (24-48 horas) y pasar inmediatamente a congelar, sin un periodo intermedio de almacenamiento refrigeración (López & Casp, 2004).

La congelación y descongelación influye principalmente la fracción de agua de la carne. Puesto que el agua está contenida dentro de y entre las fibras musculares de la carne, los compartimentos se crean en el tejido, lo que complica el proceso. Como el agua se congela, la concentración de los solutos restantes (proteínas, hidratos de carbono, lípidos, vitaminas y minerales) aumenta, interrumpiendo así la homeostasis del sistema complejo de carne. Los cambios en el entorno inmediato de las fibras musculares afectan a las características de la membrana celular, que a su vez afectan a la calidad de la carne (Leygonie, *et al.*, 2012).

En un producto alimenticio, como la carne, la congelación se traduce en primer lugar en una evolución de la temperatura no lineal en función del tiempo. Esquemáticamente se pueden distinguir tres etapas:

- \* Etapa de *pre-congelación* durante el cual la temperatura disminuye hasta alcanzar la temperatura a la cual da comienzo la cristalización, en esta etapa el agua sigue aún en estado líquido.
- \* 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.
- \* Etapa de *enfriamiento* hasta la temperatura de almacenamiento (Genot, 2003).

En la figura 9 se muestran las fases de congelación, donde:

- \*  $T_i$ = temperatura inicial.
- \*  $T_c$ = temperatura de congelación.
- \*  $T_f$ = temperatura final.
- \* A=Estado del agua en un producto que tiene forma geométrica simple durante la congelación. Las tres zonas representadas corresponden a las tres etapas de congelación.
- \* B= Gradiente de la temperatura en el seno de la muestra.
- \* 1= Fase de pre congelación.
- \* 2= Fase de congelación.
- \* 3= Enfriamiento del producto congelado.

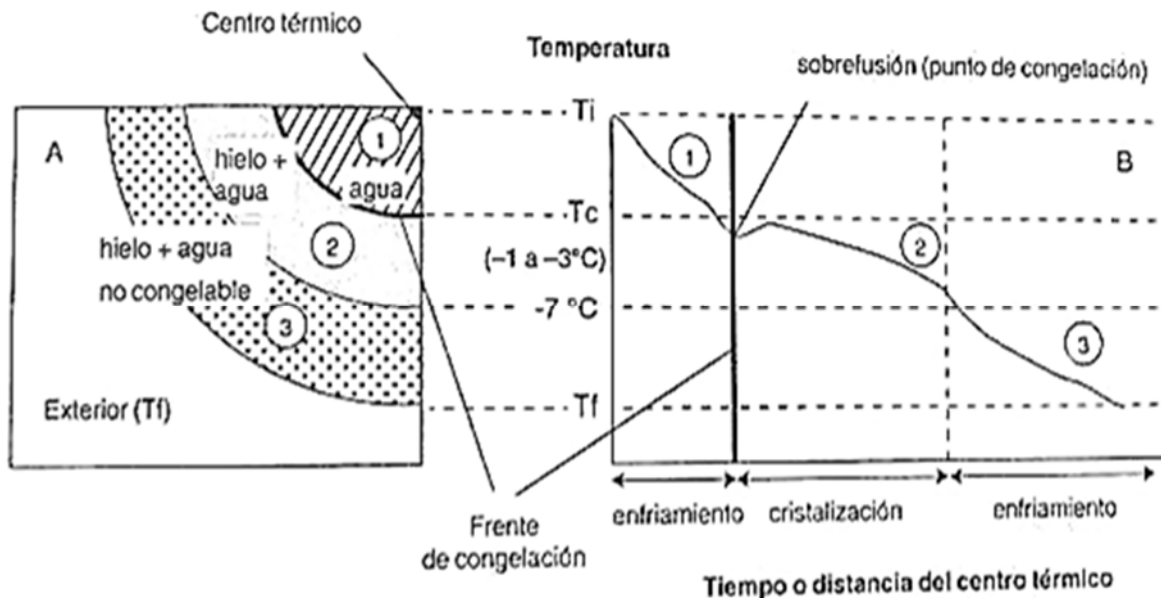


Figura 9. Diferentes fases de la congelación de una muestra

Fuente: (Genot, 2003)

El periodo de almacenamiento práctico de los alimentos congelados lo define el Instituto Internacional de Refrigeración como “el periodo de almacenamiento en congelación, que sigue a la congelación de un producto de elevada calidad inicial, durante el cual su calidad organoléptica permanece apta para el consumo, o para el proceso industrial para el que se había destinado”. Este tiempo depende de la temperatura de almacenamiento, ya que la velocidad de las reacciones químicas implicadas disminuye a medida que baja la temperatura. El “periodo de almacenamiento práctico” de la carne de vacuno adulto a  $-18^{\circ}\text{C}$  es de 12 meses; para la ternera y el cordero es de 9 meses y para los cerdo solamente de 6 meses (Lawrie, Avances de la ciencia de la carne, 1984).

#### 1.8.1.1. VELOCIDAD DE CONGELACIÓN

La velocidad de congelación está representada por el tiempo necesario para que la temperatura disminuya desde un valor  $T_1$  a un valor  $T_2$  en el centro del producto en donde se supone que la velocidad de congelación es más lenta (Girard, 1991).

Durante la transformación del músculo en carne (maduración), una parte del líquido intracelular se transporta hacia los espacios extracelulares. Durante la congelación los cristales de hielo se forman a la vez en el interior y en el exterior de las células.

Para velocidades de congelación lenta los cristales de hielo se forman en el líquido extracelular menos concentrado y su tamaño aumenta progresivamente. Las concentraciones del medio intracelular y el crecimiento de los cristales provocan la desnaturalización de las proteínas y la ruptura de las membranas celulares. La capacidad de retención de agua de la carne disminuye. Durante la descongelación ( $T > T_{\text{congelación}}$ ), se produce una exudación, produciendo un descenso en la jugosidad y la terneza de la carne. Ésta congelación tiene una velocidad de progreso de congelación inferior a 0.1-0.2 cm/h.

Para velocidades de congelación intermedias (0.2-1 cm/h), el hielo se forma tanto en el interior como en el exterior de las células. Los daños que afectan a los tejidos son importantes, siendo la cantidad de exudados dependiente directamente de la velocidad de congelación.

Para velocidades de congelación elevadas (1-10 cm/h), la cristalización tiene lugar esencialmente en el interior de las células formándose varios cristales de pequeño tamaño. De este modo se limitaría la desnaturalización de las proteínas, así como las consecuencias

sobre la cantidad de exudados, la jugosidad y la ternura de la carne. La congelación ultrarrápida puede, sin embargo, provocar fisuras que favorecen la salida de jugo durante la descongelación.

Los cristales aumentan de tamaño progresivamente con el tiempo de almacenamiento, y el aumento es mayor con la fluctuación de la temperatura. De esta manera, disminuye la capacidad de retención de agua de la carne y aumenta la cantidad de exudados durante la descongelación (figura 10) (Genot, 2003).

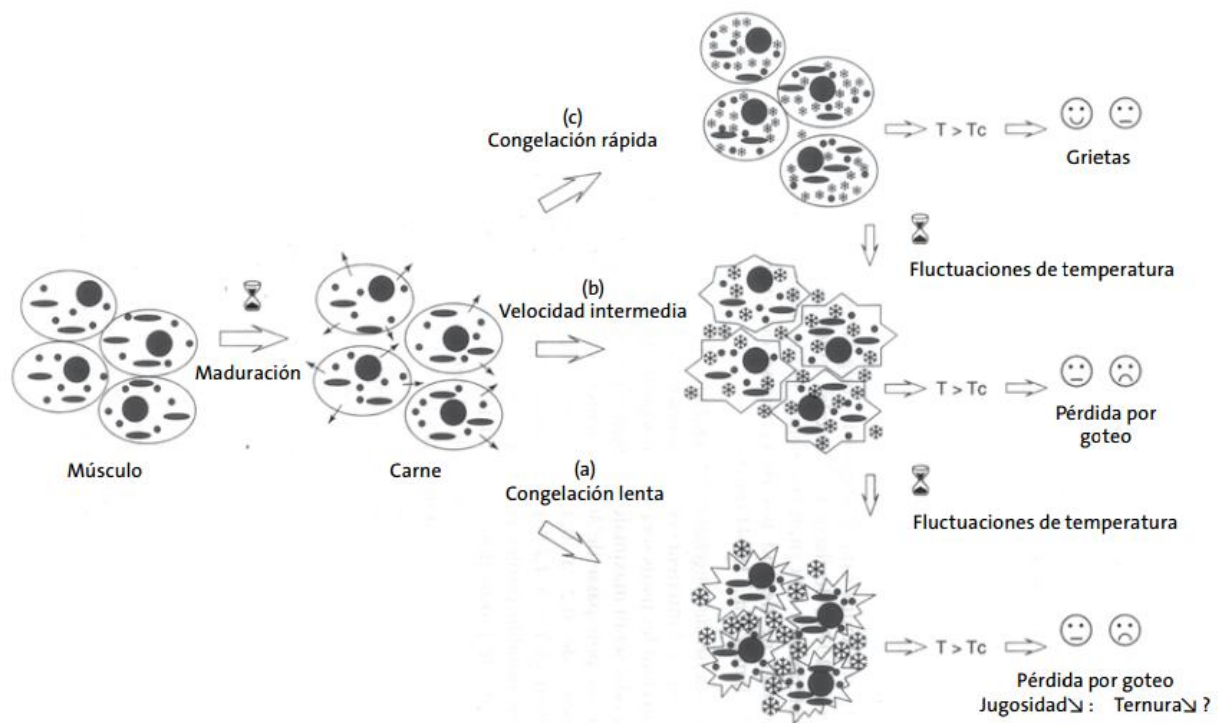


Figura 10. Representación esquemática del efecto de la velocidad de congelación, del tiempo de conservación en estado congelado y de las fluctuaciones de la temperatura de conservación sobre la localización y tamaño de los cristales de hielo, las pérdidas por exudados durante la descongelación y sobre la jugosidad de la carne

Fuente: (Genot, 2003)

### 1.8.1.2. CONGELACIÓN Y COLOR

El pardeamiento de la carne durante su conservación, se debe a la oxidación de la oximioglobina, de color rojo vivo a metamioglobina, que confiere un color pardo, principal motivo del rechazo por parte del consumidor. La oxidación de la oximioglobina en la



superficie de la carne es el resultado de procesos de degradación fotoquímica y térmica (Girard, 1991; Genot, 2003).

La lipólisis da a las grasas un color gris y la oxidación de los ácidos grasos libre, le confiere un color amarillo. El troceado favorece esta última reacción ya que los pigmentos hemínicos del magro que son los catalizadores de la oxidación, se ponen en contacto con la grasa (Genot, 2003).

### 1.8.2. ENVASADO

La quemadura del frío que se manifiesta por la aparición de manchas pardas poco apetitosas en las carnes rojas, resulta de la deshidratación superficial, este problema puede evitarse envasando el producto antes de la congelación (Girard, 1991). Un envasado adecuado puede prolongar la vida útil de la carne congelada por el mismo periodo que una disminución de aproximadamente 10°C de su temperatura de congelación. La mejor protección está garantizada por un envasado impermeable al oxígeno y a la humedad, íntimamente pegado al producto y sellado al vacío o bajo atmosferas inertes (Genot, 2003).

El envasado al vacío, es generalmente útil para la supresión de la mayor parte de las bacterias nocivas, incrementándose de esta forma la vida almacenamiento del producto, puesto que estas bacterias precisan oxígeno para su crecimiento normal. En carnes frescas la ausencia de oxígeno causa pérdidas del característico color rojo de la carne (Ranken, 2003).

### 1.8.3. DESCONGELACIÓN

La descongelación es necesaria para los alimentos congelados antes de cualquier procesamiento de alimentos adicional o cocinar. El propósito de descongelación es para restaurar la calidad del alimento original tanto como sea posible. En general, el proceso de descongelación tarda mucho más tiempo que el proceso de congelación, por lo tanto dañar potencialmente aún más la textura de los alimentos. La influencia de la descongelación en calidad de la carne es determinada por numerosos factores, incluyendo humedad relativa del aire, el tiempo de descongelación eficaz, y métodos de descongelación. Descongelación inadecuada de carne congelada puede dar lugar a un deterioro significativo de la calidad. Este deterioro es causado por la formación de grandes cristales de hielo extracelular, la oxidación de lípidos, la oxidación de proteínas, la desnaturalización de la proteína, y el crecimiento microbiológico durante el proceso de descongelación (Xia, *et al.*, 2012).

Un signo característico de la calidad de la carne descongelada es, entre otros, la cantidad pérdida de jugo. Cuando la descongelación de la canal es lenta, se consigue una reabsorción del agua celular, mientras que en las canales rápidamente se produce una intensa salida de jugo de la carne (Jasper & Placker, 1978).

*Cuadro 2. Comparación entre las diferentes técnicas de descongelación*

| <b>Procedimiento</b>         | <b>Ventajas</b>  | <b>Inconvenientes</b>   |
|------------------------------|--|---|
| <b>Aire</b>                  | *Poca inversión.<br>*Barato en su explotación.   | *Tiempo de descongelación largo.<br>*Riesgo microbiano.<br>*Heterogeneidad en la temperatura.<br>*Exudación.<br>*Procedimiento discontinuo.   |
| <b>Aire forzado</b>          | *Más rápido que el aire no pulsado.<br>*Mejor calidad de los productos.<br>*Permite el trabajo en continuo.<br>*Inversión limitada | *Largos tiempos para grandes piezas.  |
| <b>Inmersión en agua</b>     | *Buen coeficiente de transmisión térmica en superficie.<br>*Posible procedimiento en continuo.<br>*Inversión limitada.             | *Lixiviación del producto.<br>*Pérdidas cuantitativas y cualitativas.<br>*Consumo de agua + vertido de efluentes.<br>*Riesgo microbiológico.  |
| <b>Aspersión</b>             | *Buen coeficiente de transmisión térmica en superficie.<br>*Reducción del consumo de agua.   | *Lixiviación del producto.<br>*Pérdidas cuantitativas y cualitativas.<br>*Consumo de agua + vertido de efluentes.<br>*Riesgo microbiológico.  |
| <b>Vapor de agua y vacío</b> | *Buen coeficiente de transferencia térmica en superficie.<br>*Preservación de la calidad organoléptica y bacteriológica.           | *Espesor del producto limitado a 10 cm.<br>*Discontinuo.<br>*Inversión.   |
| <b>Microondas</b>            | *Rápido.<br>*Continuo.   | *Considerar forma, envasado y heterogeneidad en la composición.<br>*Posibles sobrecalentamientos localizados.<br>*Espesor del producto limitado a 20cm por 2.450MHz.<br>*Inversión. |
| <b>Alta presión</b>          | *Rápido.<br>*Menor exudación.<br>*Pasteurización parcial.  | *Posible decoloración.<br>*Discontinuo.<br>*inversión.  |

Fuente: (Genot, 2003)

La descongelación por aire es el método más extendido. Las cámaras frigoríficas mantenidas a temperaturas menores a 4°C no plantean problemas técnicos de funcionamiento como no

sea la necesidad de asegurar una buena circulación del aire alrededor de las piezas a descongelar.

La descongelación por inmersión en agua se beneficia de un mejor coeficiente de cambio. No obstante, es difícil en este caso evitar el desarrollo microbiano. Además, en ausencia de un envase, el producto absorbe agua siendo arrastrada por lavado una cantidad no despreciable de elementos nutritivos (Girard, 1991).

#### 1.8.3.1. CAMBIOS DURANTE LA DESCONGELACIÓN

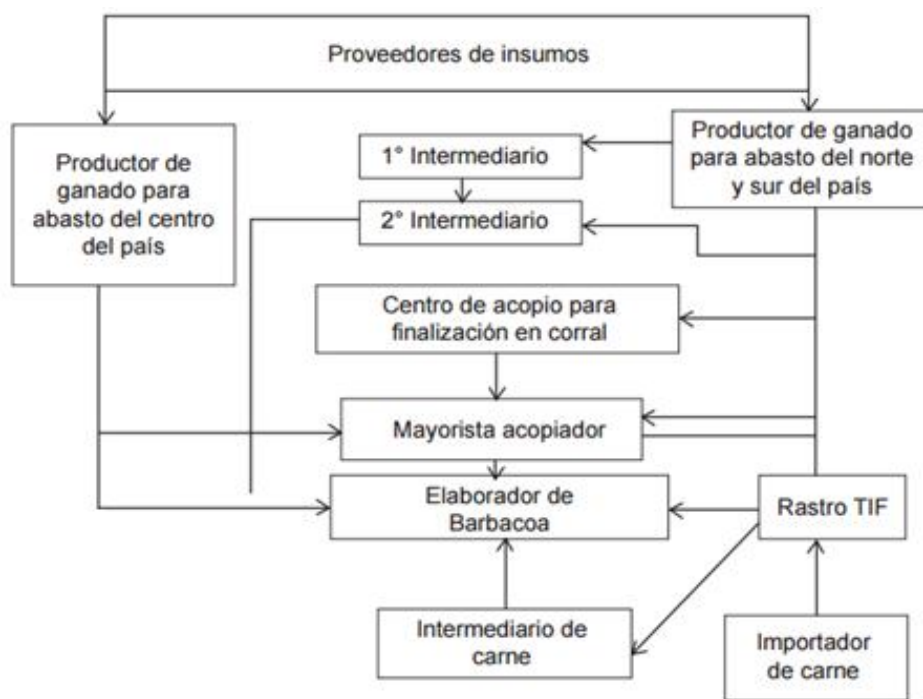
Según Girard (1991) la descongelación genera por si misma una cierta destrucción de la población microbiana al subir la temperatura de  $-7^{\circ}\text{C}$  a  $-1^{\circ}\text{C}$ . No obstante, los microorganismos sobrevivientes pueden reemprender su actividad metabólica (multiplicación y alteración del producto) en la superficie del alimento, desde el momento en que se descongela y tanto más rápido cuanto mayor es la temperatura. La riqueza de los exudados en sustancias nutritivas (aminoácidos, péptidos, sales minerales) favorecen este fenómeno.

Otra consecuencia se da en los procesos *post-mortem* que conducen al *rigor mortis*, los cuales son interrumpidos durante la congelación, pero al procederse a la descongelación se desarrollan impetuosamente. Durante la descongelación aparece una fuerte actividad ATP-asa, el ATP es hidrolizado en poco tiempo produciéndose como consecuencia una fuerte contracción y una considerable liberación de jugo (de hasta un 30-40%). El rápido agotamiento del ATP y el proceso de la contracción muscular se deben, ante todo, a la activación de la actomiosin-ATPasa. Por todo ello, el sistema de congelación utilizado va ejercer una influencia en este proceso. Los músculos sometidos a una congelación rápida, degradan con mayor velocidad el ATP después de la congelación que aquellos sometidos a una congelación lenta. La congelación rápida altera la concentración de iones libres de sarcoplasma, de modo que el retículo sarcoplásmico libera una mayor cantidad de iones  $\text{Ca}^{2+}$  que en la congelación lenta (Prandl, *et al.*, 1994).

### 1.9. PRODUCCIÓN DE GANADO OVINO

El ganado ovino es un tipo de ganado que se comprende por ovejas; estos animales son criados por el hombre para su completo aprovechamiento, dado que los mismos son grandes productores de leche y carne, pero aún más por su buena producción de lana para la confección de telas. Las ovejas son mamíferos de alimentación herbívora utilizada como ganado.

Existen varios sistemas de producción ovina, que se desarrollan en pastoreo, en estabulación o en la combinación de estas dos modalidades. De acuerdo con la intensidad de su régimen de producción se dividen en: intensivo, semi-intensivo y extensivo, y según su propósito fundamental se dividen en comerciales y de autoconsumo. A su vez, los sistemas comerciales pueden ser intensivos, semi-intensivos o extensivos, y por lo general, los de autoconsumo son de traspatio y, en algunos casos muy limitados de trashumancia (SAGARPA, 2013). De acuerdo con la Unión Nacional de Ovinocultores, la cadena productiva de la carne ovina es muy compleja e intervienen varios componentes que se describen en la figura 11.



*Figura 11. Cadena productiva de la carne de ovino*

Fuente: (SAGARPA, 2013).

Según el INEGI durante 2012, el número de cabezas sacrificadas fue de 7.6 millones en el país, generando una producción de carne en canal de 981,603 toneladas, la cual se distribuyó de la siguiente manera: 66.7% de carne bovina, 32.8% porcina, 0.3% ovina y el restante 0.2% de caprina.

La producción registrada de carne en canal ovina en 2012 se ubicó en 3,437 toneladas, nivel alcanzado principalmente por la producción en canal obtenida en Aguascalientes que aportó 16.9% del total, Estado de México 14.7%, Jalisco 11.3%, Querétaro 10.1%, Sinaloa 9.7%, Oaxaca 8.8%, Puebla y Guanajuato 6.3% cada una, Michoacán de Ocampo 4.7% y Zacatecas 2.7 por ciento. Este grupo de entidades produjo de manera conjunta el 91.5% del total nacional (figura 12).

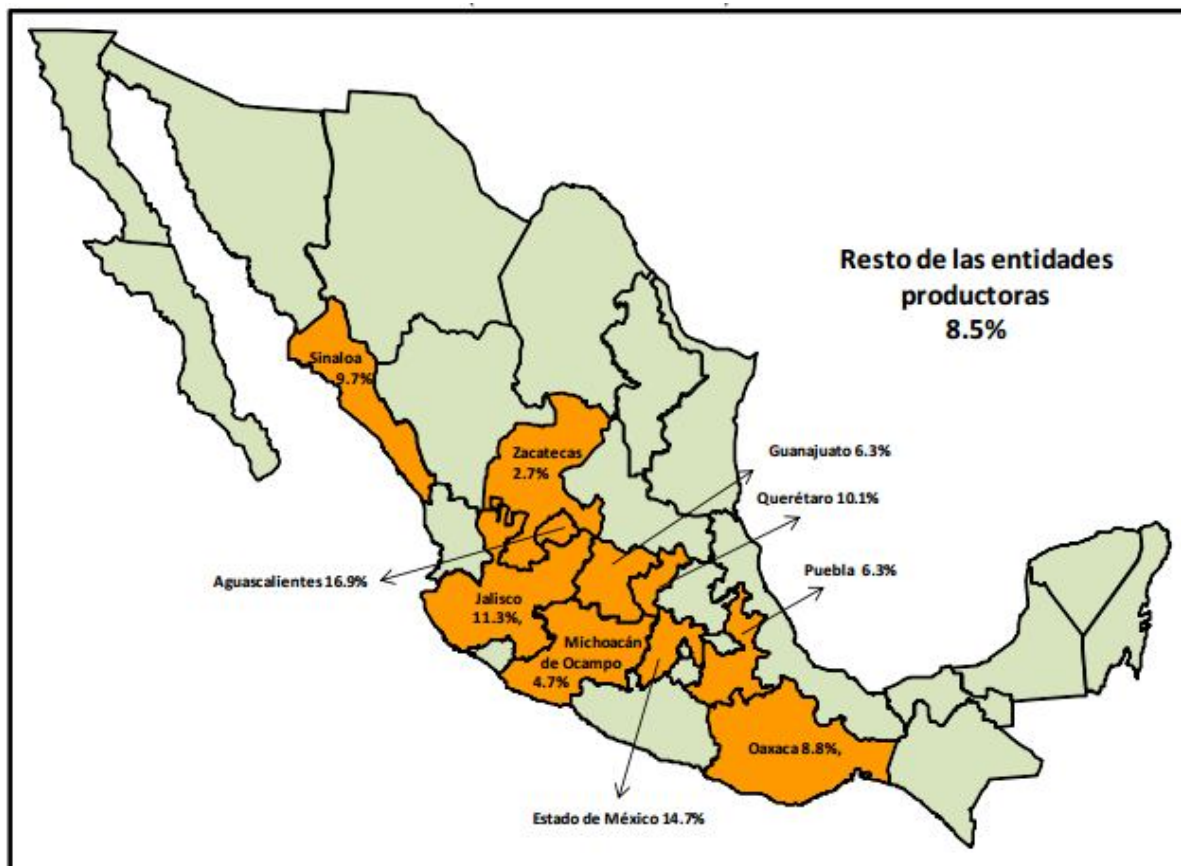
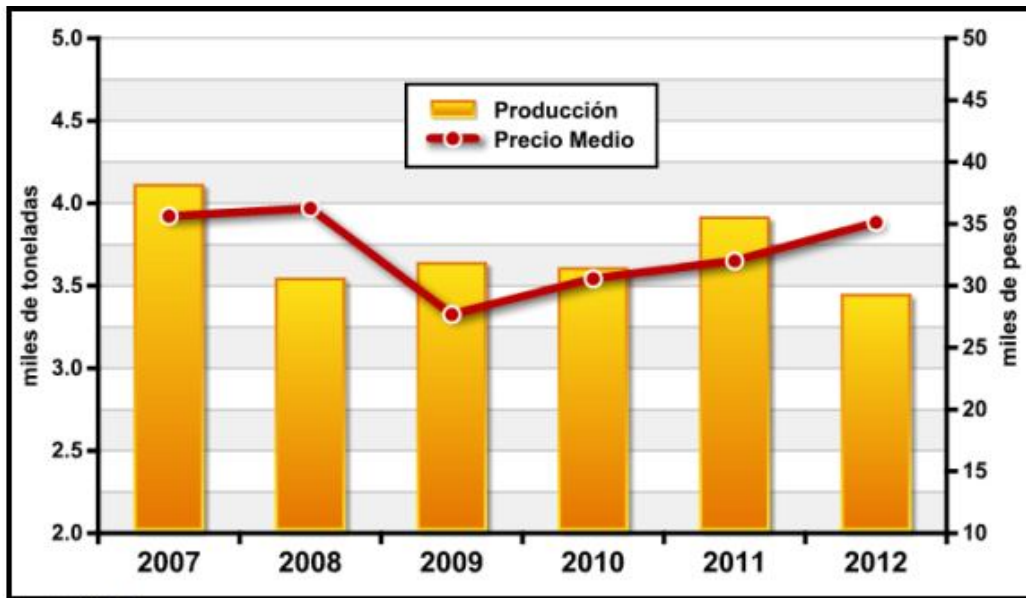


Figura 12. Producción de carne en canal de ganado ovino por entidad federativa en el 2012

Fuente: (INEGI, 2013)

El precio medio de la carne en canal del ganado ovino creció 9.7% en el 2012, al situarse en 35,129 pesos por tonelada, registrándose los mayores aumentos en Veracruz de Ignacio de la Llave (12.4%), Campeche (11.6%), Chihuahua (11.5%), Sonora (10.9%), Quintana Roo, San Luis Potosí y Sinaloa (10.6% cada una), Tamaulipas y Coahuila de Zaragoza (10.5% cada una), y en Guanajuato (10.3%) (figura 13).



*Figura 13. Total Nacional producción y precio medio de carne en canal de ganado ovino 2007-2012 (toneladas y pesos por tonelada)*

Fuente: (INEGI, 2013)

El consumo de carne de ovino, tradicionalmente, se ha localizado en el centro del país (Distrito Federal, Estado de México, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Querétaro y Morelos), donde se concentra más o menos el 85% del total de carne consumida y el resto se aprovecha en los demás estados de la república. Así mismo, se estima que de la producción total, básicamente el 90 % se consume en forma de barbacoa y sólo el 10% se prepara de otra manera como cordero al pastor, cordero al ataúd, mixiotes, birria de borrego, cordero lechal y cordero como sustituto de cabrito, así como en cortes finos de cordero (SAGARPA, 2013).

## JUSTIFICACIÓN

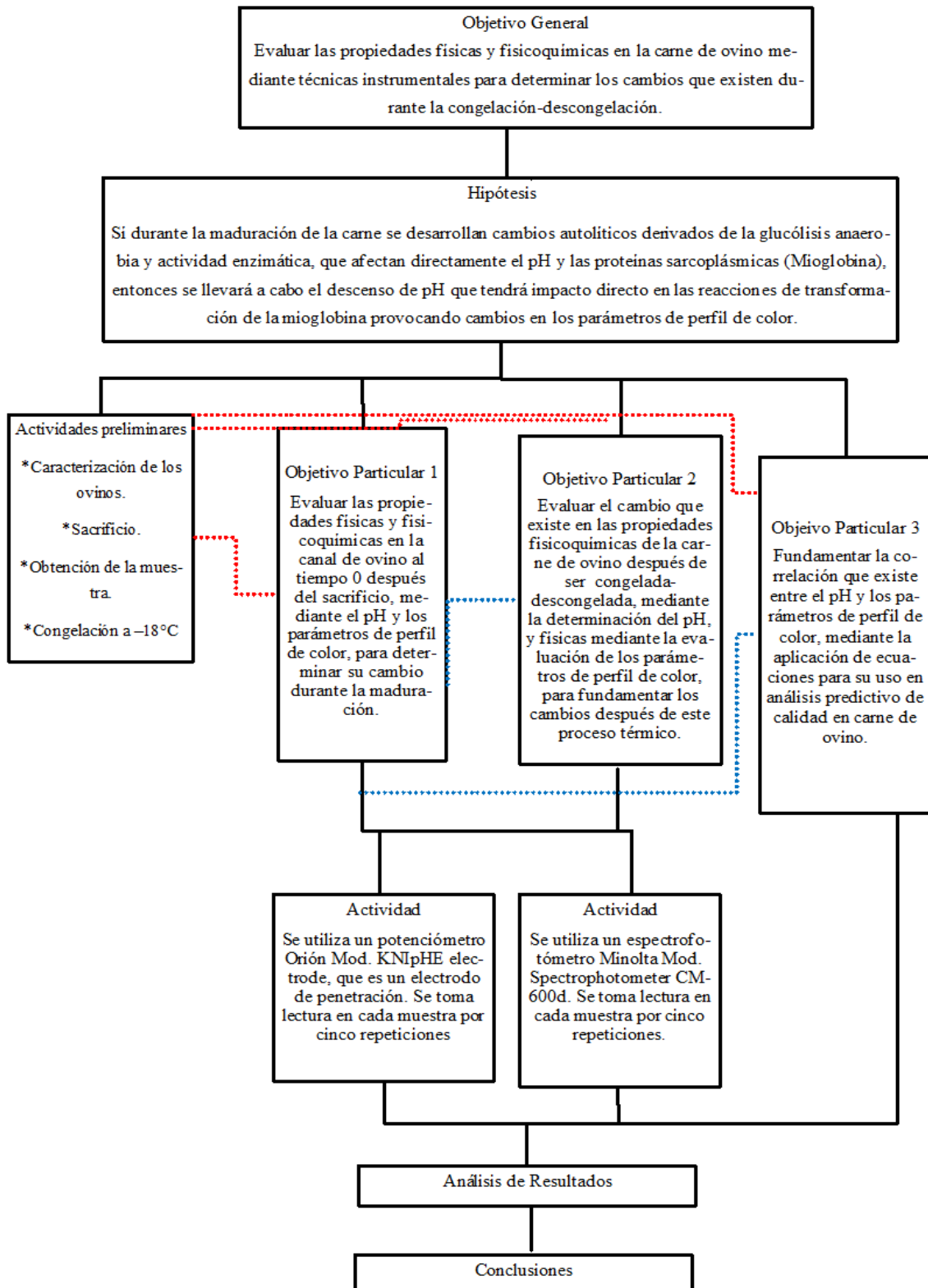
En las carnes congeladas continúan dándose las reacciones autolíticas propias de esta, lo cual provoca cambios en algunas de sus propiedades, como los parámetros de perfil de color, la textura y jugosidad, esto se debe a los daños por frío entre ellos, la deshidratación o quemaduras, reportados en carne de distintas especies comestibles.

Los daños que se generan en la carne de ovino durante la congelación-descongelación, son ocasionados por las condiciones en que se maneje la carne, dado que la mioglobina es una hemoproteína soluble en agua, las principales pérdidas de esta, se supone ocurran en los exudados durante la descongelación. La velocidad de descongelación favorece además el crecimiento de los cristales de agua y la producción de mermas asociadas a la forma y tamaño de los cristales producidos.

En este trabajo se busca identificar los cambios que ocurren bajo dos métodos de descongelación de carne de ovino, su relación con las mermas producidas en los parámetros de perfil de color, asimismo el efecto del manejo en el pH, así como la posible correlación que guardan entre ellos.

## CAPITULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. CUADRO METODOLÓGICO





### ***Objetivo General***

Evaluar las propiedades físicas y fisicoquímicas en la carne de ovino mediante técnicas instrumentales para determinar los cambios que existen durante la congelación-descongelación.

### ***Hipótesis***

Sí durante la maduración de la carne se desarrollan cambios autolíticos derivados de la glucólisis anaerobia y actividad enzimática, que afectan directamente el pH y las proteínas sarcoplásmicas (Mioglobina), entonces se llevará a cabo el descenso de pH que tendrá impacto directo en las reacciones de transformación de la mioglobina provocando cambios en los parámetros de perfil de color.

### ***Objetivo Particular 1***

Evaluar las propiedades físicas y fisicoquímicas en la canal de ovino al tiempo 0 después del sacrificio, mediante el pH y los parámetros de perfil de color, para determinar su cambio durante la maduración.

### ***Objetivo Particular 2***

Evaluar el cambio que existe en las propiedades fisicoquímicas de la carne de ovino después de ser congelada-descongelada, mediante la determinación del pH, y físicas mediante la evaluación de los parámetros de perfil de color, para fundamentar los cambios después de este proceso térmico.

### ***Objetivo Particular 3***

Fundamentar la correlación que existe entre el pH y los parámetros de perfil de color, mediante la aplicación de ecuaciones para su uso en análisis predictivo de calidad en carne de ovino.

## 2.2. ACTIVIDADES PRELIMINARES

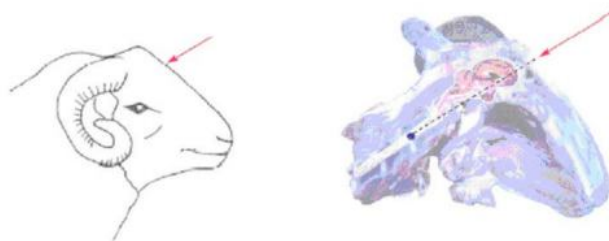
### 2.2.1. CARACTERIZACIÓN

Las muestras carne de ovinos utilizadas, para esta experimentación, se obtuvieron del Centro de Enseñanzas Agropecuarias (CEA) de FES-Cuautitlán Campo-4. Las cuales tenían las siguientes características:

- \* Raza: Romanou-Friesian.
- \* Sexo: Macho.
- \* Edad: 5.5 meses

### 2.2.2. SACRIFICIO

1. Recepción del animal en pie. Se aturde al animal por el método de perno cautivo, el cual consiste en una pistola que dispara un cartucho de foguero, empujando un pequeño perno metálico por el cañón. El disparo se realiza 4 cm arriba de la línea mediana de la cabeza entre los 2 ojos, colocando el cañón de la pistola perpendicular al hueso frontal (NOM-033-ZOO-1995) (figura 14). El perno penetra el cráneo, produciendo una conmoción, al lesionar el cerebro o incrementar la presión intracraneal.



*Figura 14. Angulo para la insensibilización en ovinos*



*Figura 15. Canal de ovino*

2. Se cuelga al animal de las extremidades traseras. A partir de este momento todo lo que se realiza será con el cuerpo del animal suspendido en el aire.

3. Y se comienza el desangrado. Este se deberá realizar dentro de los 30 segundos después de aplicada la insensibilización (NOM-033-ZOO-1995). El desangrado es la parte del sacrificio en que se cortan los principales vasos sanguíneos del cuello para permitir que la sangre drene del cuerpo, produciéndose la muerte por anoxia cerebral.

Las incisiones deben ser rápidas y precisas. En ovinos la garganta se corta detrás de la mandíbula.

4. Se retiran patas y cabeza del animal.
5. Se le quita la piel al cuerpo del animal.
6. Se eviscera y se inspeccionan las vísceras en busca de anomalías.
7. Se lava la canal, para retirar sangre y restos de pelo.
8. Se pesa la canal, posteriormente es llevada a refrigeración (figura 15).

### 2.2.3. OBTENCIÓN DE LA MUESTRA

La canal se llevó a refrigeración a 4°C durante una semana, para que se diera la maduración (transformación de músculo en carne).

Después de la maduración de la canal, se diseccionó el músculo *Bíceps femoris*. Éste se obtuvo mediante un corte recto que parte a nivel de la articulación lumbo- sacra y pasa por el borde anterior del Ilión (INAC. Instituto Nacional de la Carne, 2004) (figura 16).

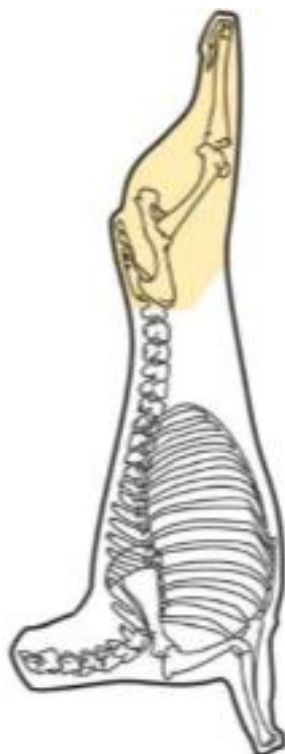


Figura 16. Pierna con Cuadril y con Garrón

Fuente: (INAC. Instituto Nacional de la Carne, 2004).

Posteriormente las muestras fueron envasadas al vacío en una envasadora marca Inauen modelo VC999 K2-K3 (figura 17)



*Figura 17. Envasadora al vacío*

Ya envasada se congelaron las muestras en una cámara de congelación hasta alcanzar una temperatura de  $-20\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Tras dos meses de congelación las muestras se transportaron al laboratorio 7 de la UIM, en condiciones de congelación a  $-20\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

#### 2.2.4. DESCONGELACIÓN

Para realizar la descongelación se utilizaron 2 métodos:

- \* Descongelación lenta. La muestra se refrigeró durante 24h a una temperatura de  $4^{\circ}\text{C}$  (figura 18) en un refrigerador vertical marca Nieto, modelo REB-634 con capacidad de  $34.7 \text{ pies}^3$ .



*Figura 18. Refrigerador vertical*

- \* Descongelación rápida. La muestra fue sumergida en 2000cm<sup>3</sup> de agua (hasta que quedó cubierta completamente la muestra) durante 30 min a una temperatura de 25°C (figura 18).



*Figura 19. Descongelación rápida*

### 2.3. EXPERIMENTACIÓN

Las determinaciones se realizaron en la canal después del sacrificio y los días 1, 4 y 7 tras el sacrificio; posteriormente se tomó una muestra la cual fue llevada a congelación, transcurridos 2 meses de congelación, se transportó la muestra al laboratorio 7 de la UIM, la cual fue descongelada por dos métodos: refrigeración (método lento) e inmersión en agua (método rápido). Se evaluaron el pH y el perfil de color, con 5 repeticiones en cada muestra.

#### 2.3.1. pH

El pH es la medición de la actividad de los iones H<sup>+</sup> que indica la acidez. Se puede medir mediante la determinación de potencial eléctrico entre el vidrio y electrodos de referencia, utilizando un aparato comercial normalizado potenciómetro, frente a tampón de pH estándar primario del National Institute of Standards and Technology (NIST) (Horwitz, 2000).

##### 2.3.1.1. MÉTODO PARA MEDIR pH

Se utilizó un potenciómetro Thermo Orión Five Star Thermo, MOD. 9120APWP, Serie Thermofisher Scientific, con un electrodo Kniphe al cual se le incorporó una cuchilla para realizar la punción en la carne. Los electrodos de pH se calibraron con soluciones buffer de pH 4 y 7 (figura 20), a 25°C.



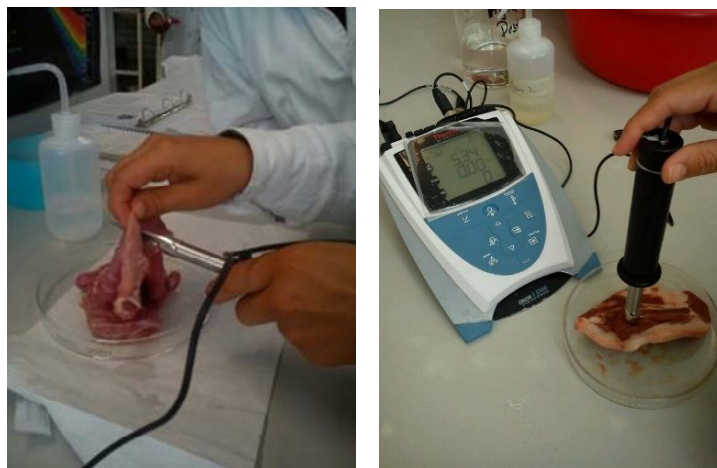
*Figura 20. Soluciones buffer*

Se colocó la muestra sobre una caja Petri para evitar el contacto con otras superficies (figura 21).



*Figura 21. Muestra de carne de ovino*

Se introdujo el electrodo en forma perpendicular al músculo (el electrodo debe cubrirse completamente con la muestra) y se comenzó la lectura. Se esperó a que la lectura se estabilizara. Al finalizar se limpió el electrodo con agua destilada, y se realizaron las repeticiones.



*Figura 22. Punción en la carne con el electrodo (izquierda) y lectura (derecha)*

### 2.3.2. PARÁMETROS DE PERFIL DE COLOR

El equipo permite una medida objetiva del color, a través de la cuantificación de la luz reflejada por la muestra. Éste comprime un rayo de luz y recibe un reflejo que ocasiona un triple estímulo en los filtros rojo, verde y azul que posteriormente son transformados en los valores de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y opera según el procedimiento espectral, donde una fuente de luz definida ilumina la muestra y la refleja por la superficie se mide de modo espectral (Fernández, 2007).

### 2.3.2.1. MÉTODO PARA MEDIR PERFIL DE COLOR

Se utilizó un espectrofotómetro, MOD. Spectrophotometer CM-600d (figura 23), con un intervalo de longitud de onda de 400 nm a 700 nm, iluminante A, un ángulo de visión de 10° y un orificio de 8mm/área de visualización (American Meat Science Association, 2012). Los procedimientos seguidos son los que ha establecido esa Asociación para el mejor manejo del equipo, en la obtención de datos experimentales.

Se realizó la calibración del cero, esto se hace tomando una lectura del ambiente en que se va a realizar la lectura, con la finalidad de que el equipo capture las condiciones del lugar donde se harán las mediciones.



Figura 23. Calibración del equipo

Se realizó la calibración en blanco, que es cubriendo el puerto de medición con un capuchón para calibración (figura 24).

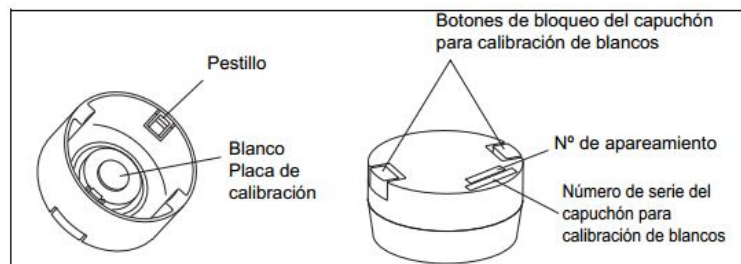


Figura 24. Capuchón para calibración en blancos CM-A177

Se preparó la muestra, colocándola en una caja Petri para evitar el contacto con otras superficies.

Sobre la muestra preparada se colocó la celda para sólidos y se presionó ésta contra la muestra (figura 25).



*Figura 25. Muestra para determinación*

Se colocará el espectrofotómetro sobre celda y se presionará sobre la muestra (figura 26). Se tomó la lectura. Al finalizar la lectura se limpió la celda.



*Figura 26. Toma de lectura*



### 2.3.3. CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES

Para comprobar la correlación se utilizó el programa Excel del paquete Microsoft Office 2013. El objetivo es ajustar un modelo de la forma:

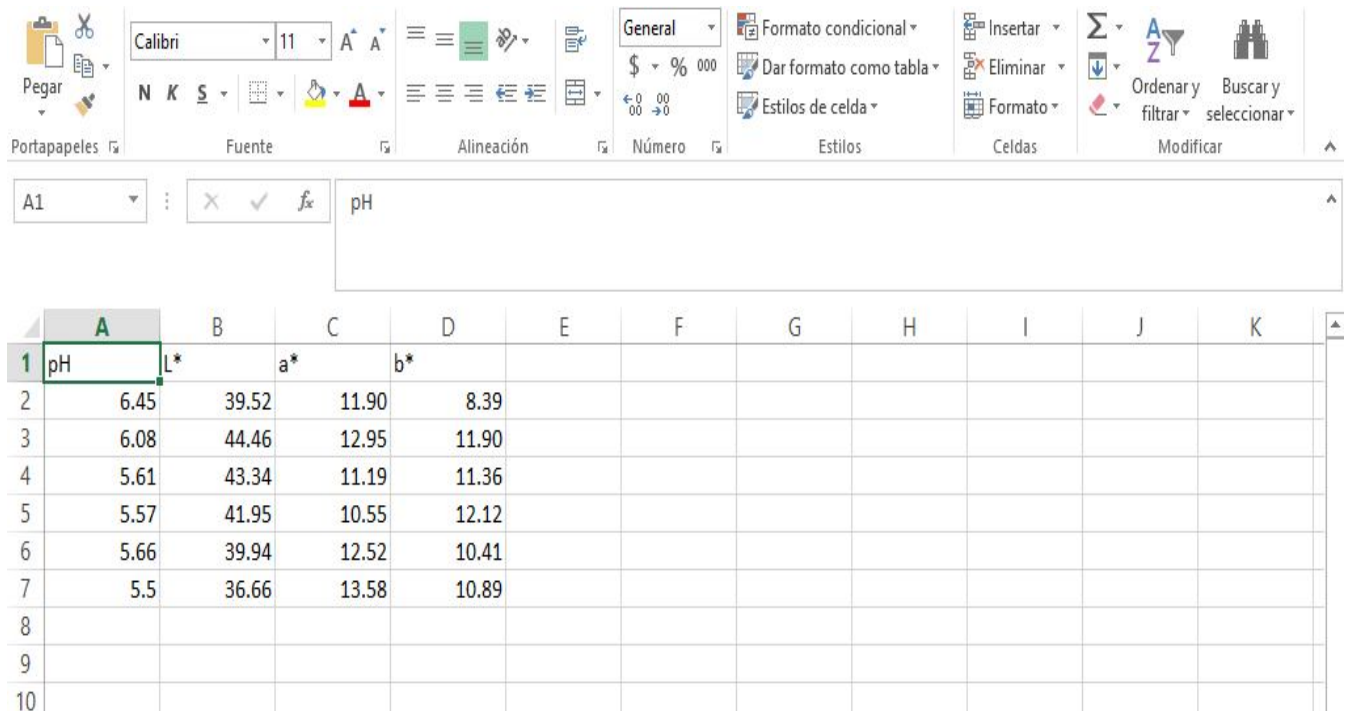
$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$$

Dónde:

- \* Y= pH
- \*  $X_1=L^*$
- \*  $X_2=a^*$
- \*  $X_3=b^*$

Esto para estimar los parámetros correspondientes  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  y  $\beta_3$ . El procedimiento realizado fue:

1. Se creó una base de datos (figura 27) para las variables pH (Y),  $L^*$  ( $X_1$ ),  $a^*$  ( $X_2$ ) y  $b^*$  ( $X_3$ ).



The image shows a screenshot of the Microsoft Excel 2013 interface. The ribbon at the top includes options like 'Pegar', 'Fuente', 'Alineación', 'Número', 'Estilos', 'Celdas', and 'Modificar'. The active cell is A1, which contains the text 'pH'. Below the ribbon, a data table is visible with the following content:

|    | A    | B     | C     | D     | E | F | G | H | I | J | K |
|----|------|-------|-------|-------|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  | pH   | L*    | a*    | b*    |   |   |   |   |   |   |   |
| 2  | 6.45 | 39.52 | 11.90 | 8.39  |   |   |   |   |   |   |   |
| 3  | 6.08 | 44.46 | 12.95 | 11.90 |   |   |   |   |   |   |   |
| 4  | 5.61 | 43.34 | 11.19 | 11.36 |   |   |   |   |   |   |   |
| 5  | 5.57 | 41.95 | 10.55 | 12.12 |   |   |   |   |   |   |   |
| 6  | 5.66 | 39.94 | 12.52 | 10.41 |   |   |   |   |   |   |   |
| 7  | 5.5  | 36.66 | 13.58 | 10.89 |   |   |   |   |   |   |   |
| 8  |      |       |       |       |   |   |   |   |   |   |   |
| 9  |      |       |       |       |   |   |   |   |   |   |   |
| 10 |      |       |       |       |   |   |   |   |   |   |   |

Figura 27. Base de datos

2. En el menú principal se abrió la barra datos y se seleccionó Análisis de datos con el cursor (figura 28).

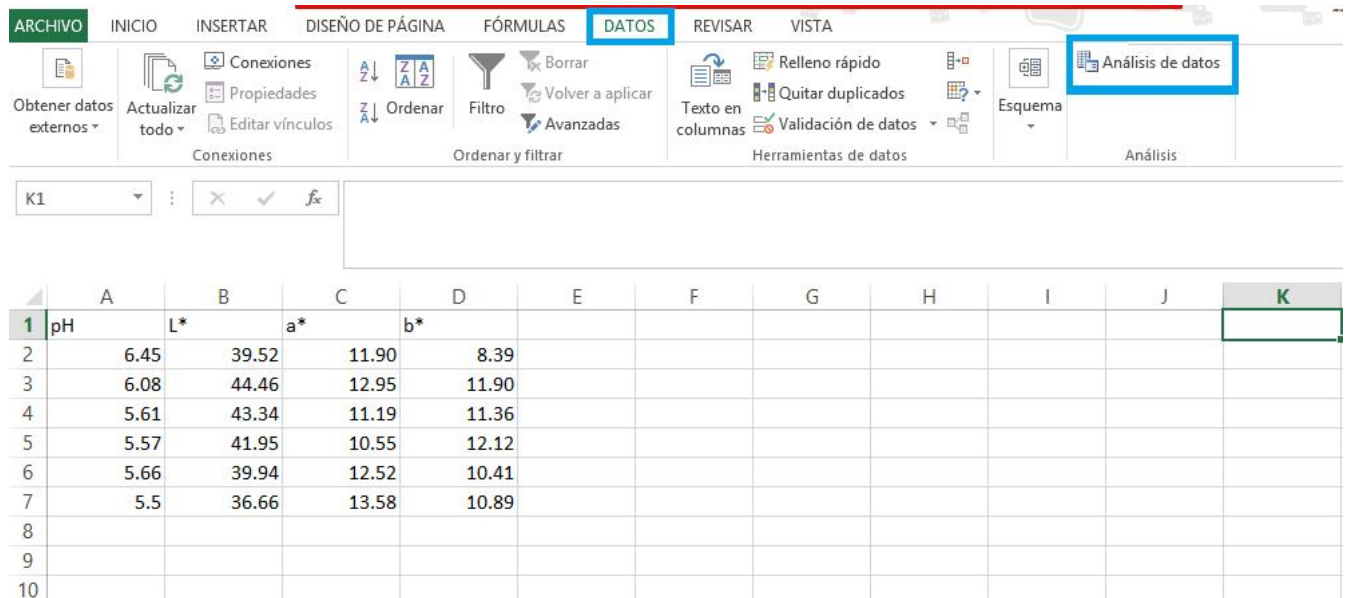


Figura 28. Hoja de cálculo para la correlación

3. Se abrió la ventana Análisis de datos y en ella se marcó la opción Regresión (figura 29).

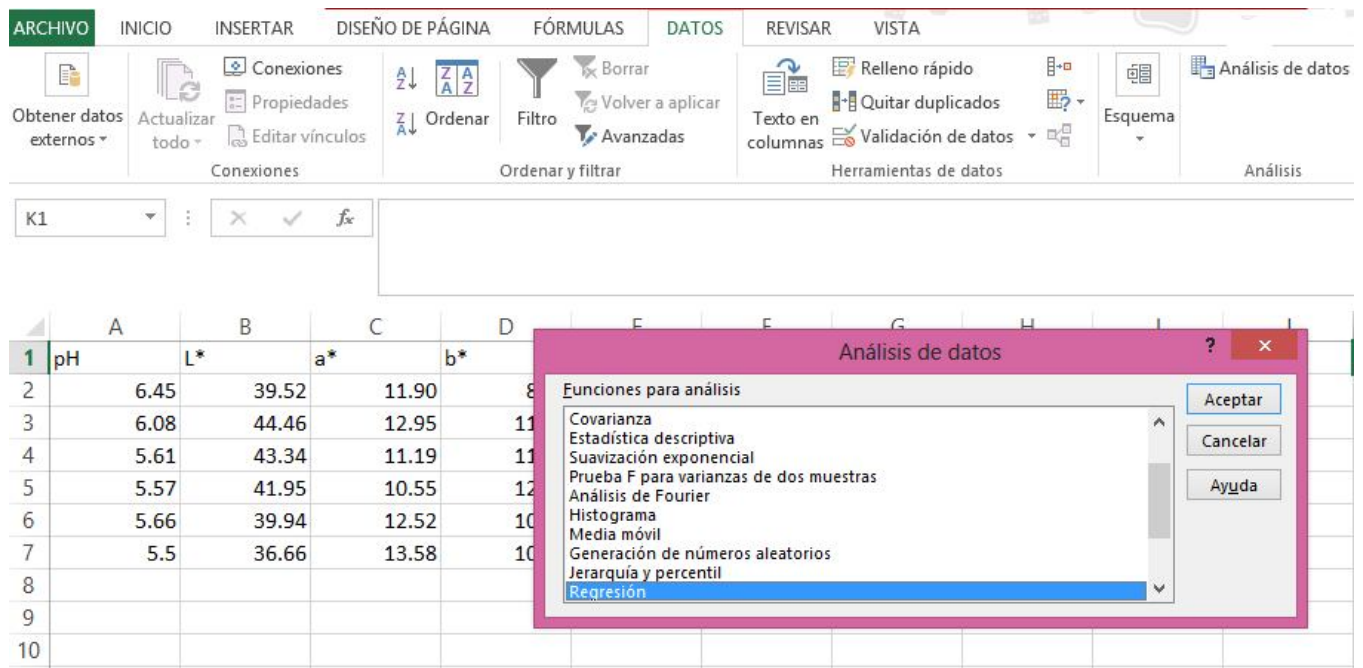


Figura 29. Análisis de datos

4. Al activar esta opción se abrió la ventana Regresión en la cual se llenaron los siguientes campos:
  - a. Rango Y de entrada: Debe contener los datos de la variable dependiente.
  - b. Rango X de entrada: Debe contener los datos de las variables independientes.
  - c. Nivel de confianza: Activarla y escribir 95%.
5. Luego se dio aceptar y los resultados se obtuvieron de la siguiente manera (figuras 30 y 31).

Figura 30. Selección de datos

| Estadísticas de la regresión                 |             |
|--|-------------|
| Coefficiente de correlación múltipl          | 0.890613234 |
| Coefficiente de determinación R <sup>2</sup> | 0.793191933 |
| R <sup>2</sup> ajustado                      | 0.482979834 |
| Error típico                                 | 0.268787415 |
| Observaciones                                | 6           |

| ANÁLISIS DE VARIANZA |                    |                   |                           |            |                    |
|----------------------|--------------------|-------------------|---------------------------|------------|--------------------|
|                      | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Promedio de los cuadrados | F          | Valor crítico de F |
| Regresión            | 3                  | 0.554189984       | 0.184729995               | 2.55693422 | 0.293572767        |
| Residuos             | 2                  | 0.144493349       | 0.072246675               |            |                    |
| Total                | 5                  | 0.698683333       |                           |            |                    |

|              | Coefficientes | Error típico | Estadístico t | Probabilidad | Inferior 95% | Superior 95% | Inferior 95.0% | Superior 95.0% |
|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| Intercepción | 3.507302903   | 2.89931685   | 1.209699762   | 0.349978189  | -8.967450655 | 15.98205646  | -8.967450655   | 15.98205646    |
| Variable X 1 | 0.104169251   | 0.054870416  | 1.898459295   | 0.198051455  | -0.131919093 | 0.340257595  | -0.131919093   | 0.340257595    |
| Variable X 2 | 0.088232667   | 0.119976182  | 0.73541819    | 0.538633862  | -0.427983182 | 0.604448515  | -0.427983182   | 0.604448515    |
| Variable X 3 | -0.279686931  | 0.103888821  | -2.692175414  | 0.114713298  | -0.726684452 | 0.16731059   | -0.726684452   | 0.16731059     |

Figura 31. Datos obtenidos para la correlación

6. De aquí se extrajeron :

- a. Intercepción =  $\beta_0$ .
- b. Variable  $X_1 = \beta_1$ .
- c. Variable  $X_2 = \beta_2$ .
- d. Variable  $X_3 = \beta_3$  (figura 32) (Reyes, 2004).

| ANÁLISIS DE VARIANZA |                    |                   |                           |            |                    |
|----------------------|--------------------|-------------------|---------------------------|------------|--------------------|
|                      | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Promedio de los cuadrados | F          | Valor crítico de F |
| Regresión            | 3                  | 0.554189984       | 0.184729995               | 2.55693422 | 0.293572767        |
| Residuos             | 2                  | 0.144493349       | 0.072246675               |            |                    |
| Total                | 5                  | 0.698683333       |                           |            |                    |

|              | Coefficientes | Error típico | Estadístico t | Probabilidad | Inferior 95% |
|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| Intercepción | 3.507302903   | 2.89931685   | 1.209699762   | 0.349978189  | -8.967450655 |
| Variable X 1 | 0.104169251   | 0.054870416  | 1.898459295   | 0.198051455  | -0.131919093 |
| Variable X 2 | 0.088232667   | 0.119976182  | 0.73541819    | 0.538633862  | -0.427983182 |
| Variable X 3 | -0.279686931  | 0.103888821  | -2.692175414  | 0.114713298  | -0.726684452 |

Figura 32. Variables a utilizar en la correlación

### CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para la primera parte de la experimentación se evaluó el pH y el perfil de color en los músculos semitendinoso semimembranoso y largo dorsal, a las 0, 4 y 24 horas desde el sacrificio.

En la segunda parte de la experimentación se trabajó con carne congelada por dos meses, ésta fue descongelada utilizando dos métodos:

- \* Descongelación lenta. En refrigeración a 4°C durante 24 h, en un refrigerador vertical.
- \* Descongelación rápida. Sumergiendo la muestra en agua a 25°C durante 30 min.

El pH fue determinado con un potenciómetro de punción FiveStar Thermo, MOD. 9120APWP, Serie Thermofisher scientific, la prueba se realizó 5 veces en cada muestra.

El perfil de color fue determinado con un espectrofotómetro MOD. Spectrophotometer CM-600d, con un intervalo de longitud de onda de 400 nm a 700 nm, la prueba se realizó 3 veces en cada muestra. Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 3.

*Cuadro 3. Datos de los parámetros de perfil de color en carne en congelación-descongelación rápida y carne en congelación-descongelación lenta*

|          | L*(A) |       | a*(A) |       | b*(A) |       | C*(A) |       | h(A)  |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|          | DR    | DL    | DR    | DL    | DR    | DL    | DR    | DL    | DR    | DL    |
| ST O1    | 43.45 | 44.71 | 11.57 | 12.61 | 8.76  | 9.95  | 14.52 | 16.07 | 37.05 | 38.23 |
| ST O2    | 41.98 | 44.30 | 11.84 | 10.22 | 7.08  | 6.16  | 13.80 | 11.94 | 30.54 | 30.89 |
| ST O3    | 35.58 | 38.84 | 12.57 | 12.98 | 6.19  | 9.18  | 14.03 | 15.90 | 26.07 | 35.29 |
| SM O1    | 34.80 | 37.19 | 15.14 | 15.86 | 9.95  | 11.10 | 18.11 | 19.36 | 33.27 | 34.94 |
| SM O2    | 36.36 | 39.18 | 14.90 | 14.29 | 9.04  | 9.71  | 17.43 | 17.28 | 31.29 | 34.21 |
| SM O3    | 36.74 | 32.90 | 12.71 | 14.47 | 9.13  | 9.85  | 15.65 | 17.51 | 35.72 | 34.11 |
| LD O1    | 36.78 | 36.04 | 15.30 | 15.22 | 10.86 | 10.61 | 18.76 | 18.55 | 35.34 | 34.90 |
| LD O3    | 38.56 | 38.09 | 13.76 | 15.11 | 8.81  | 10.41 | 16.34 | 18.36 | 32.60 | 34.62 |
| LD O3    | 32.12 | 32.20 | 14.41 | 14.73 | 9.51  | 10.34 | 17.26 | 18.00 | 33.42 | 35.09 |
| PROMEDIO | 37.37 | 38.16 | 13.58 | 13.94 | 8.81  | 9.70  | 16.21 | 17.00 | 32.81 | 34.70 |

### 3.1. pH

Muela *et al.* (2012) dice que la evaluación sensorial de la carne puede ser afectada por los procesos de congelación-descongelación en relación con el color, la textura o sabor características, por ello un pH final mayor que 5.6 podría tener un efecto negativo en el olor y sabor de la carne de cordero. Autores como Leygonie *et al.* (2012) indican que el pH de la carne que ha sido congelada y descongelada tiende a ser más bajo que antes de la congelación. 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, podría causar la desnaturalización de las proteínas de amortiguamiento, la liberación de los iones de hidrógeno y la disminución posterior en el pH.

En el caso del músculo semitendinoso, (figura 33) se observó una tendencia de pH después de la descongelación entre 5.5-5.8.

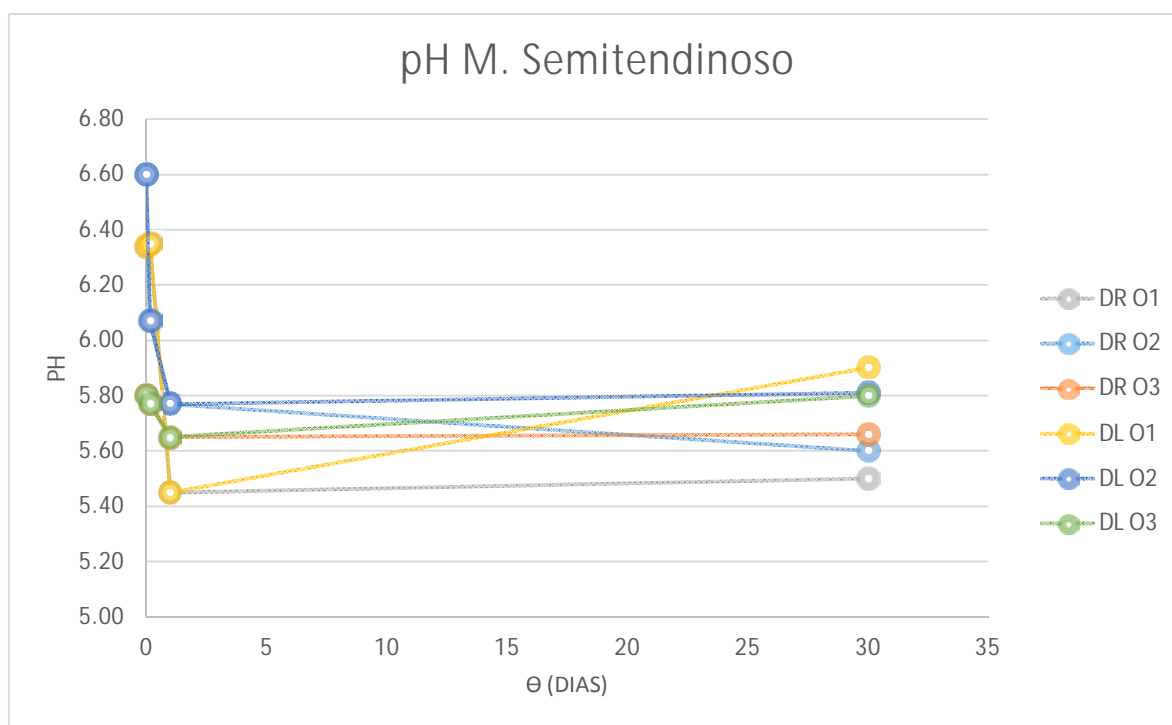


Figura 33. Gráfica de pH en el músculo semitendinoso

Para los músculos semimembranoso (figura 34) y largo dorsal (figura 35), se observó que para ambos casos, en la descongelación lenta hay un aumento de pH entre 5.8-6.2. Mientras que en la descongelación rápida presenta un comportamiento parecido al del músculo semitendinoso, en el cual no asciende el pH sino que se mantiene estable al pH de la carne fresca (5.2-5.6) o presenta una ligera elevación.

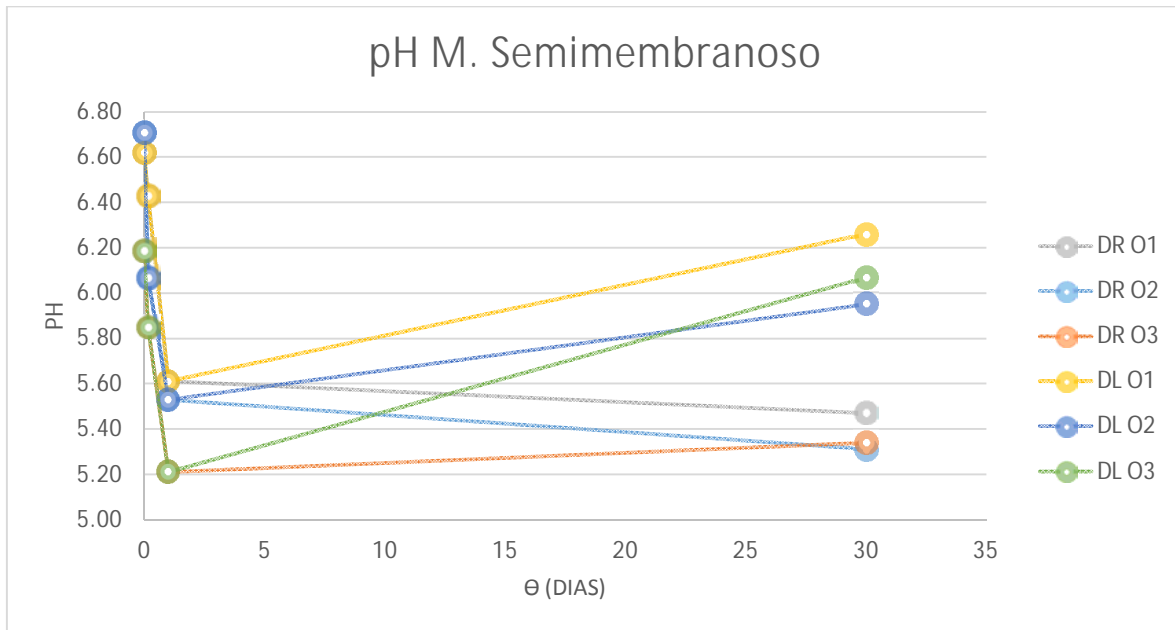


Figura 34. Gráfica de pH en el músculo semimembranoso

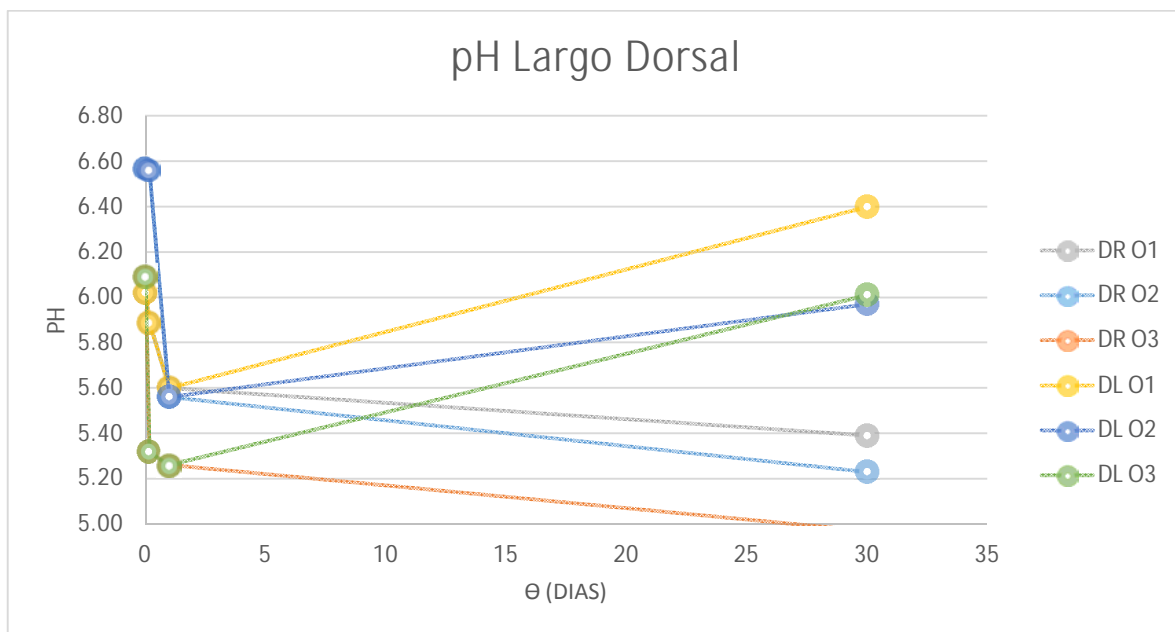
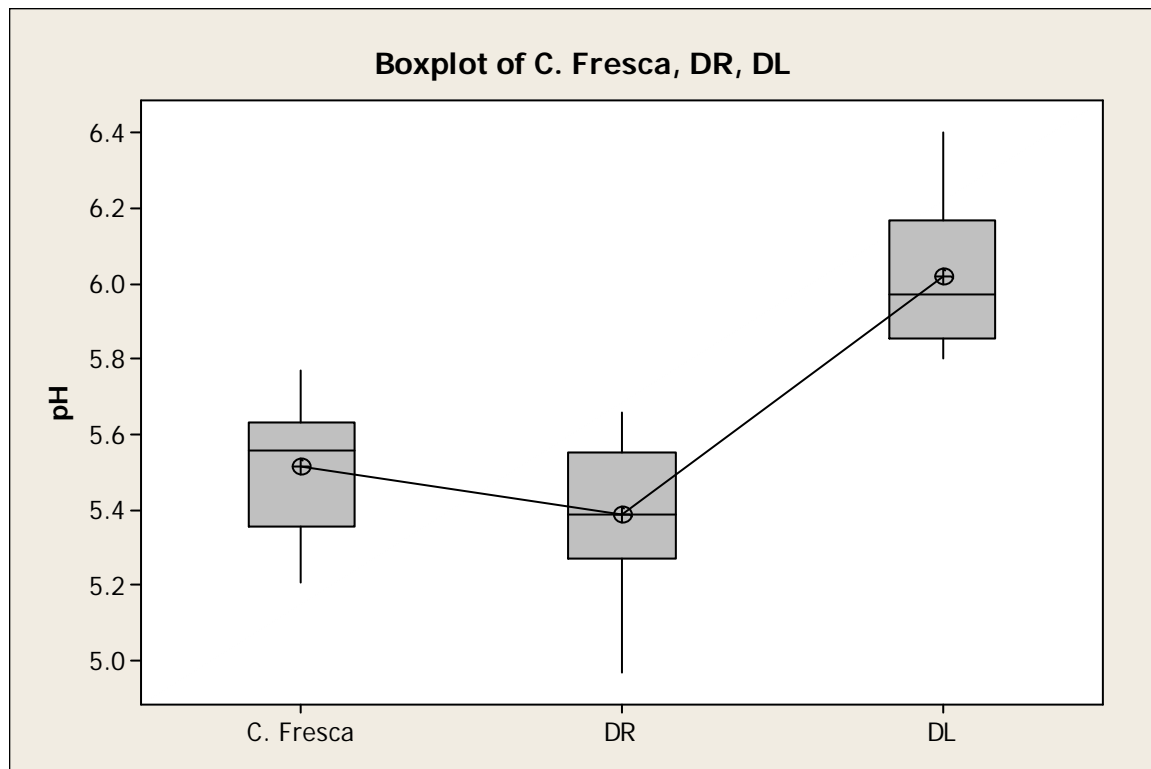


Figura 35. Gráfica de pH en el músculo largo dorsal

Estadísticamente el pH no tiene una diferencia significativa ( $P>0.05$ ) entre el pH en carne fresca y el pH de la carne descongelada por un método rápido (figura 36). Mientras que el pH de la carne descongelada por un método lento, si se ve afectado por el método en comparación con la otras.



*Figura 36. ANOVA del pH en carne fresca, carne en congelación-descongelación rápida, carne en congelación-descongelación lenta*



### 3.2. PARÁMETROS DE PERFIL DE COLOR

A continuación se presentan unas gráficas comparativas de los parámetros de perfil de color, tanto para descongelación rápida como para descongelación lenta, donde se observa que todos los parámetros se manejan en escalas diferentes (figuras 37 y 38).

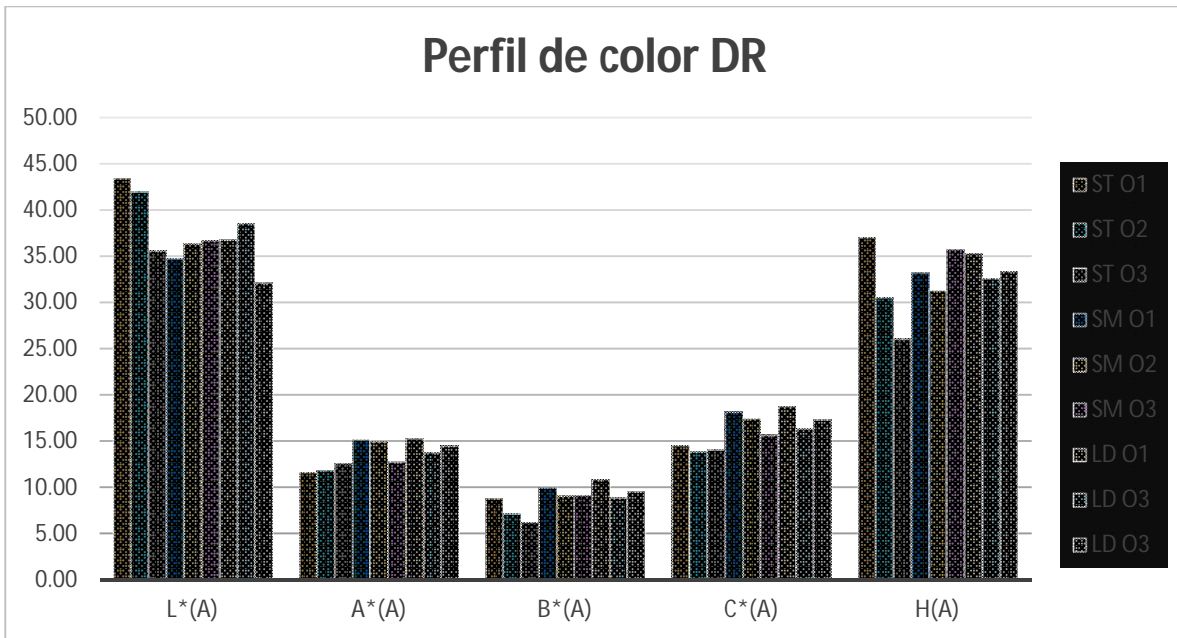


Figura 37. Gráfica comparativa de los parámetros de perfil de color en carne congelación-descongelación rápida

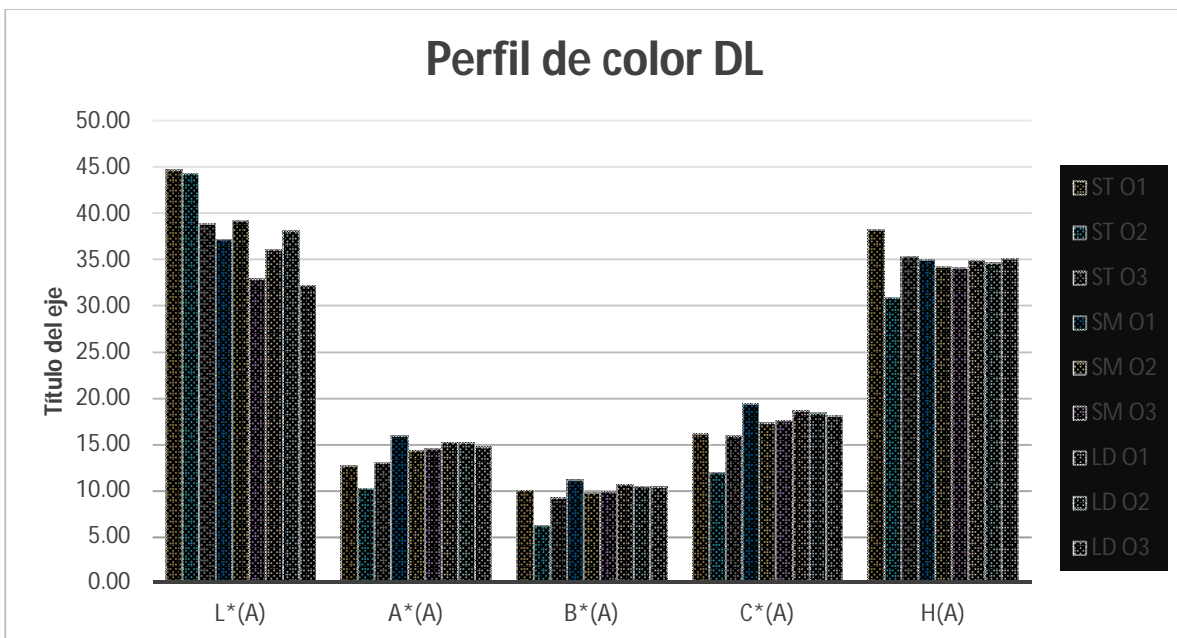


Figura 38. Gráfica comparativa de los parámetros de perfil de color en carne congelación-descongelación lenta

Autores como Kim, *et al.* (2013) y Girard (1991) sugieren que la congelación-descongelación acelera la oxidación de la mioglobina y el deterioro de color de la carne, porque confiere un color pardo, siendo este el principal motivo de rechazo por parte de los consumidores. Otros como Genot (2003) consideran que en la carne congelada, la autooxidación de la mioglobina se retrasa de 2 a 5 veces cuando la temperatura baja 10°C, con un máximo entre -10°C y -15°C.

### 3.2.1. PARÁMETRO L\*

Las siguientes graficas se obtuvieron para el parámetro L\*(luminosidad, 0=negro, 100=blanco), en las figuras 39 y 40, para descongelación rápida y descongelación lenta no se observa un cambio significativo, ya que los resultados obtenidos son parecidos entre si y en la figuras 39-41, se observan valores sobrepuestos, por ello se puede decir que estadísticamente son iguales.

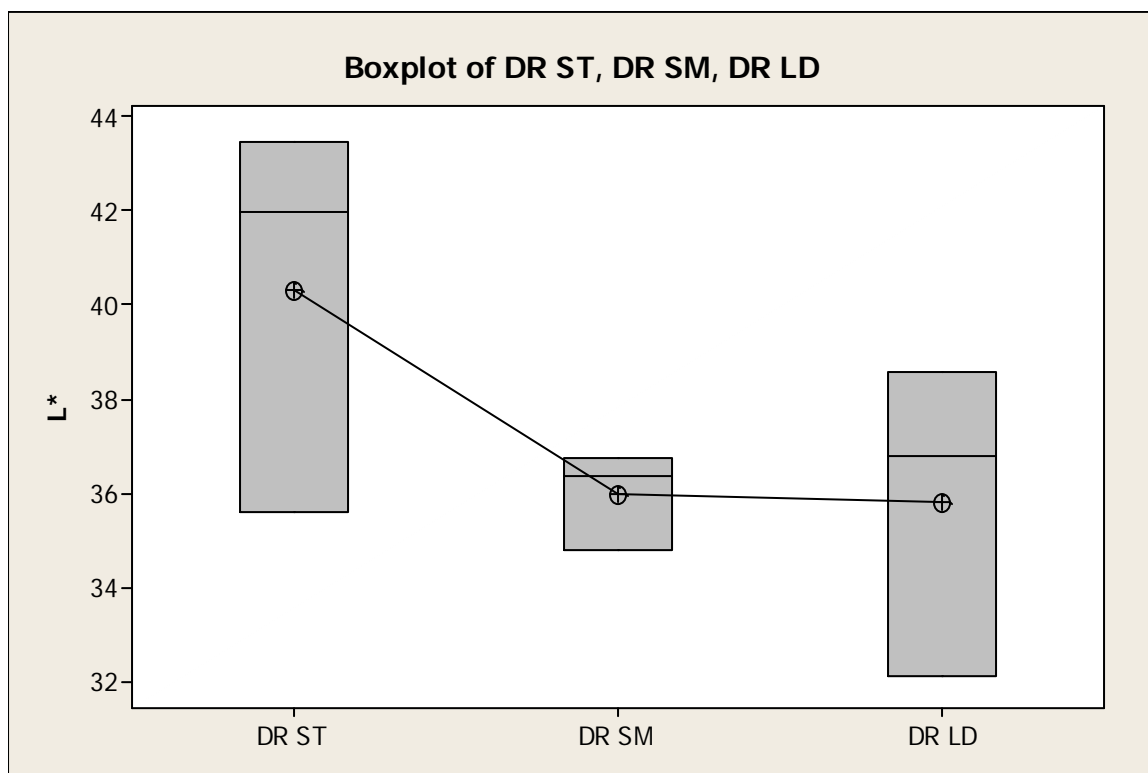


Figura 39. ANOVA del parámetro L\*, en carne congelación- descongelación rápida, en los músculos semitendinoso (ST), semimembranoso (SM) y largo dorsal (LD)

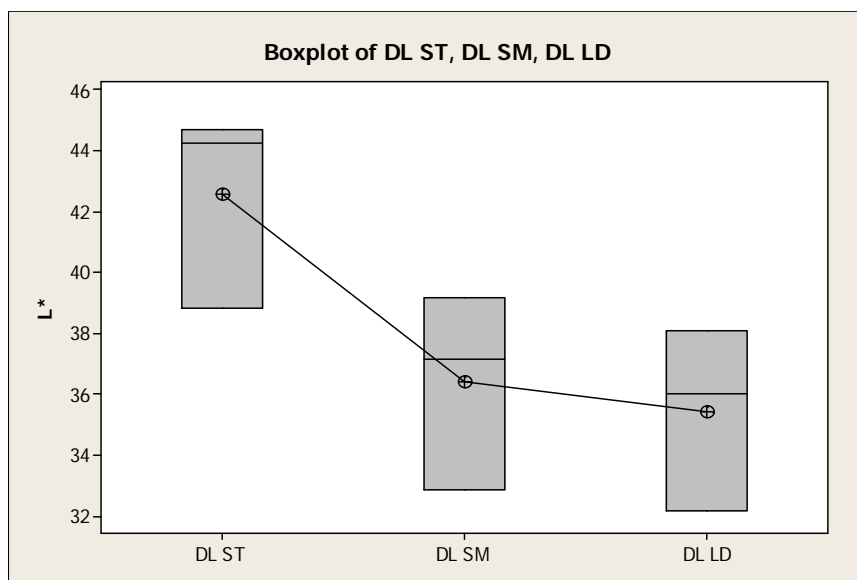


Figura 40. ANOVA del parámetro  $L^*$ , en carne congelación- descongelación lenta, en los músculos semitendinoso (ST), semimembranoso (SM) y largo dorsal (LD)

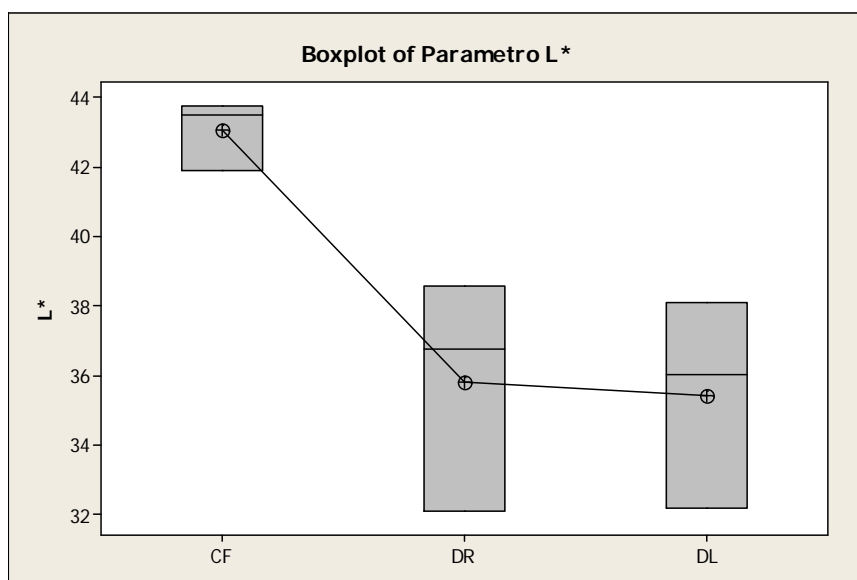


Figura 41. ANOVA del parámetro  $L^*$ , en carne fresca, carne en congelación- descongelación rápida, carne en congelación- descongelación lenta

Según Genot (2003), dependiendo el tamaño de los cristales de hielo, la luz se refleja más o menos en la superficie de las piezas congeladas. Así, cuando la velocidad de congelación en la superficie es elevada, los cristales son de tamaño menor y reflejan la luz. En este caso se muestra que si existe diferencia significativa en el parámetro  $L^*$ , ya que observamos un descenso de luminosidad en la carne descongelada por ambos métodos en comparación con la carne fresca, por lo tanto, podemos decir que para la carne de ovino congelada en camará, la formación de cristales si afecta el parámetro  $L^*$ .

### 3.2.2. PARÁMETRO $a^*$

En las figuras 42 y 43 se observa que tanto en la descongelación rápida como en la lenta el músculo semitendinosos no se comporta igual que el musculo semimembranoso y el largo dorsal.

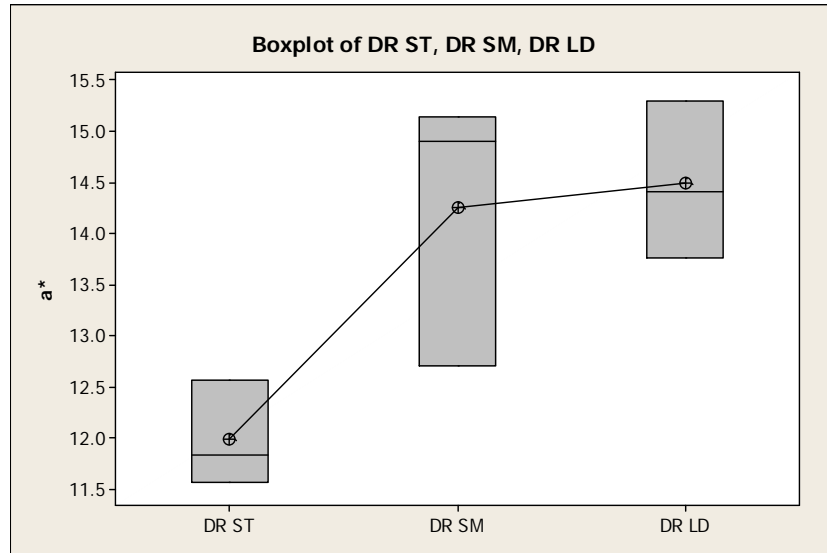


Figura 42. ANOVA del parámetro  $a^*$ , en carne congelación- descongelación rápida, en los músculos semitendinoso (ST), semimembranoso (SM) y largo dorsal (LD)

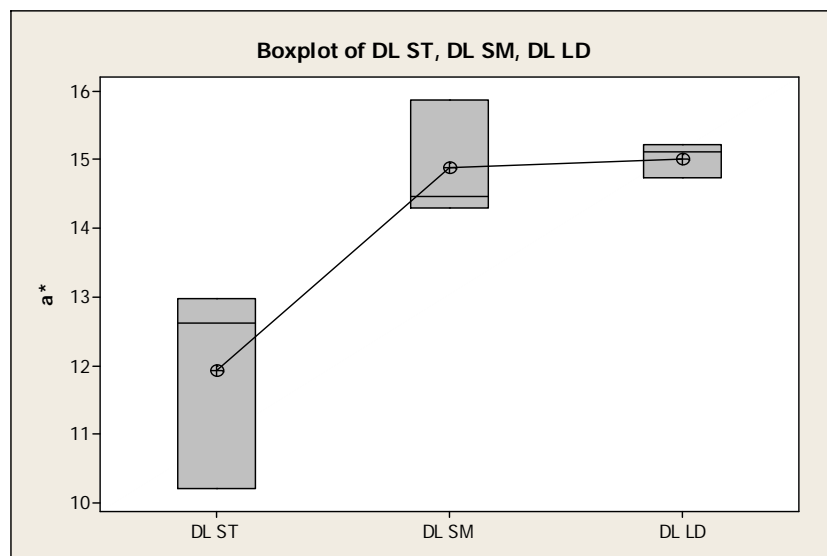


Figura 43. ANOVA del parámetro  $a^*$ , en carne congelación- descongelación lenta, en los músculos semitendinoso (ST), semimembranoso (SM) y largo dorsal (LD)

En la figura 44, se muestra la gráfica que se obtuvo para el parámetro  $a^*$  comparando la carne fresca con los dos tipos de descongelación, donde no hay cambios significativos con respecto a este parámetro y estadísticamente son iguales ya que manejan intervalos muy parecido, con ello se puede decir que las proteínas sarcoplásmicas (que dan el color a la rojo

a la carne) no son afectadas por la congelación y descongelación. Autores como Martínez-Arellano, *et al.* (2013), informan que los parámetros  $L^*$  y  $a^*$ , no presentan cambios significativos después del almacenamiento.

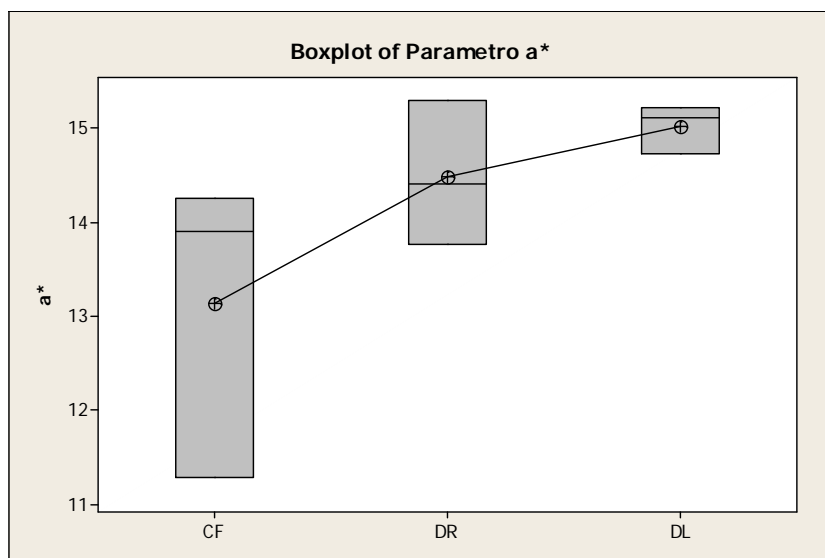


Figura 44. ANOVA del parámetro  $a^*$ , en carne fresca, carne en congelación-descongelación rápida, carne en congelación-descongelación lenta

### 3.2.3. PARÁMETRO $b^*$

En las figuras 45 y 46 se observa que en ambos métodos de descongelación se tiene una tendencia parecida en los músculos que se trabajaron, en estos, no se presentó diferencia significativa.

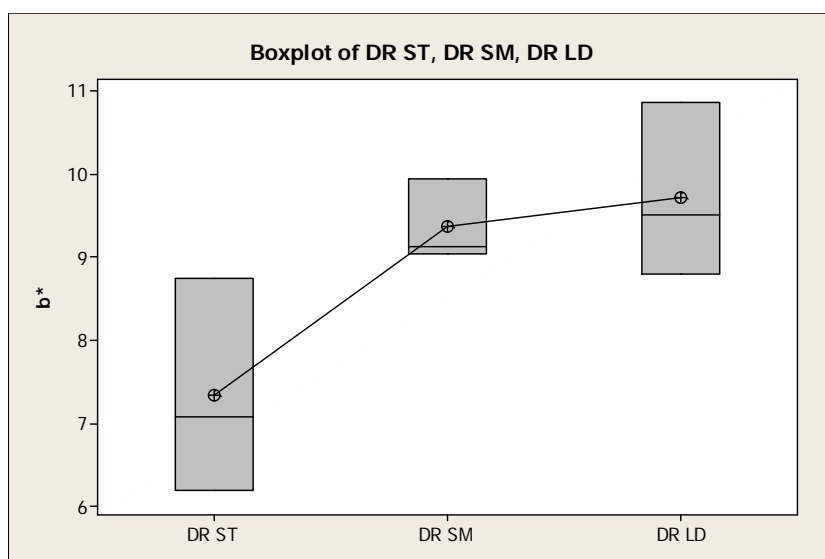


Figura 45. ANOVA del parámetro  $b^*$ , en carne congelación-descongelación rápida, en los músculos semitendinoso (ST), semimembranoso (SM) y largo dorsal (LD)

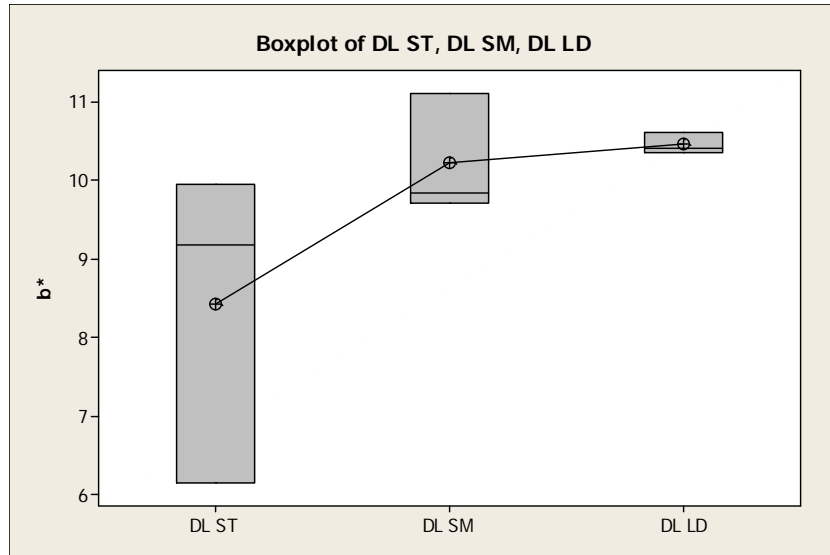


Figura 46. ANOVA del parámetro  $b^*$ , en carne fresca, carne en congelación-descongelación rápida, carne en congelación-descongelación lenta

En la figura 47, se presentan los datos obtenidos del parámetro  $b^*$ , los cuales no indican que la congelación-descongelación afecta este parámetro, ya que los procesos bioquímicos propios de la carne siguen durante la congelación. En los estudios realizados en carne de cerdo por Xia, *et al.* (2009), también observan un aumento en el parámetro  $b^*$  (amarillos), estos autores sugieren que la formación de pigmento amarillo en la carne podría ser debido a reacciones de pardeamiento no enzimático entre los productos de oxidación de lípidos y la amina en los grupos de cabeza de fosfolípidos o la amina en la proteína.

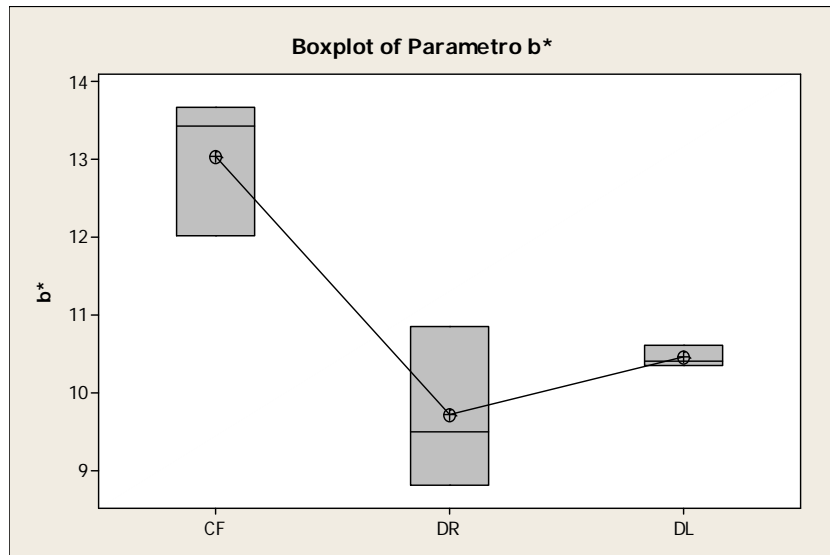


Figura 47. ANOVA del parámetro  $b^*$ , en carne fresca, carne en congelación-descongelación rápida, carne en congelación-descongelación lenta

### 3.2.4. PARÁMETRO CROMA

En las figuras 48 y 49, se presentan los datos obtenidos del parámetro croma, donde se aprecia un aumento de éste en los músculos semimembranosos y largo dorsal, Martínez-Arellano, *et al.* (2013) dice que, el aumento de  $C^*$  durante el almacenamiento pueden ser causados por la mayor presencia de agua en la superficie de la carne como consecuencia de la desnaturalización de la proteína muscular. Considerando lo anterior, se puede decir que los músculos semimembranosos y largo dorsal de la carne de ovino tiene un mayor croma debido a que no se da la reabsorción del jugo de la carne, por lo cual todos quedan en la superficie de la carne.

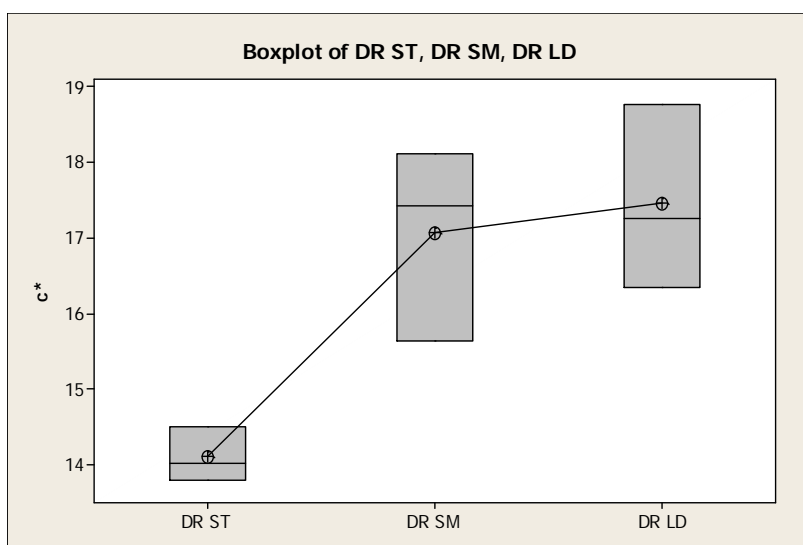


Figura 48. ANOVA del parámetro  $c^*$ , en carne congelación- descongelaón rápida, en los músculos semitendinoso (ST), semimembranoso (SM) y largo dorsal (LD)

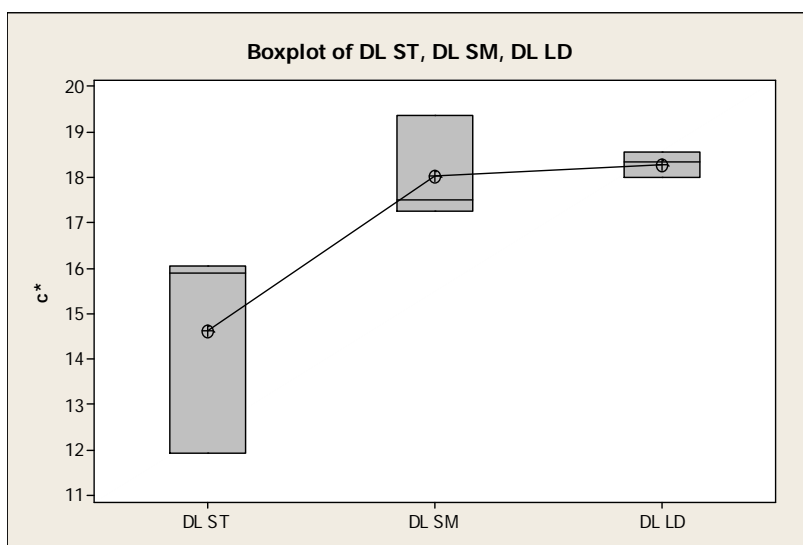


Figura 49. ANOVA del parámetro  $c^*$ , en carne fresca, carne en congelación- descongelaón rápida, carne en congelación- descongelaón lenta

En la figura 50, se presentan los datos obtenidos del parámetro croma, donde se aprecia que la descongelación no afecta este parámetro, y estadísticamente son similares.

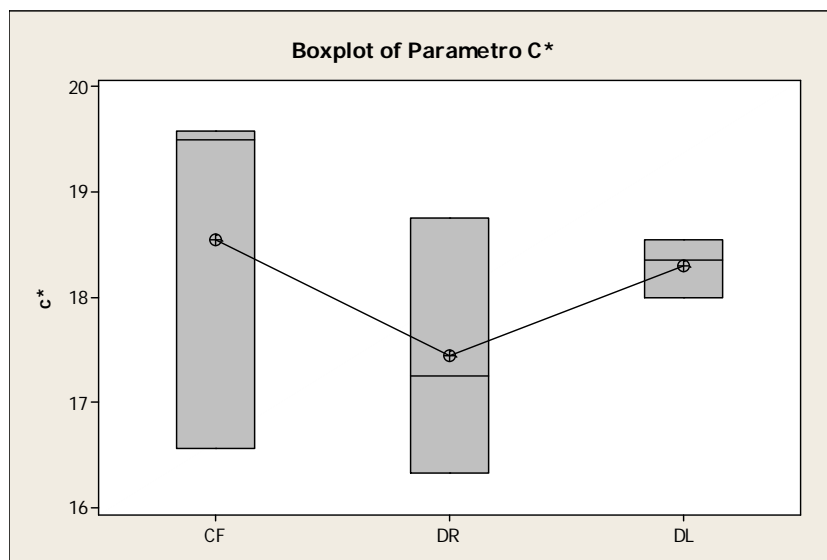


Figura 50. ANOVA del parámetro  $c^*$ , en carne fresca, carne en congelación- descongelación rápida, carne en congelación- descongelación lenta

### 3.2.5. PARÁMETRO ÁNGULO HUE

El ángulo hue no presenta cambios perceptibles en ambos métodos de descongelación, Jacob & Thomson, (2012) dicen que para tonalidad existe interacción entre el tiempo y el músculo, y al transcurrir el tiempo la tonalidad (ángulo hue) se vuelve estable. En este caso los cambios no son estadísticamente significativos (figuras 51-53).

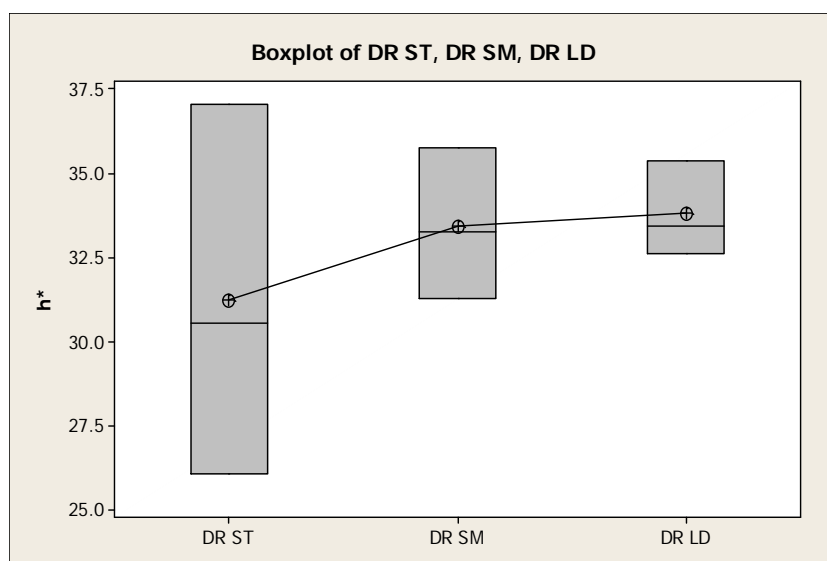


Figura 51. ANOVA del parámetro  $h^*$ , en carne congelación- descongelación rápida, en los músculos semitendinoso (ST), semimembranoso (SM) y largo dorsal (LD)



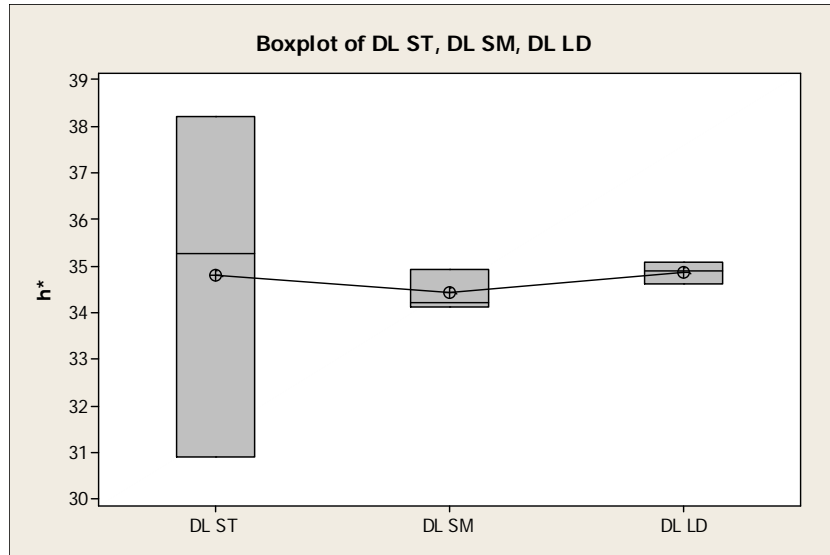


Figura 52. ANOVA del parámetro  $h^*$ , en carne fresca, carne en congelación- descongelación rápida, carne en congelación- descongelación lenta

El ángulo hue presenta grandes cambios tras la descongelación en ambos casos.

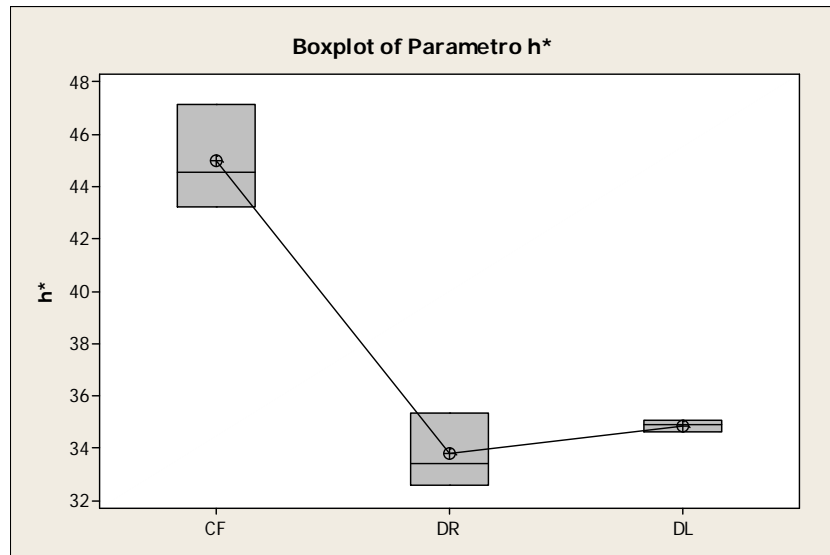


Figura 53. ANOVA del parámetro  $h^*$ , en carne fresca, carne en congelación- descongelación rápida, carne en congelación- descongelación lenta

### 3.2.6. PARÁMETRO DELTA E

En el cuadro 4 se muestran los resultados obtenidos tras la determinación del parámetro Delta E, LACIE nos dice que los cambios de color son percibidos en Delta E superiores a 5, con esto se puede decir, que un consumidor puede considerar agradable a la vista la carne congelada, siempre y cuando no tengan algún daño ocasionado por el frío, lo que provocaría el rechazo del producto.

*Cuadro 4. Datos de Delta E*

|           | L*    | a*    | b*    | Delta E |
|-----------|-------|-------|-------|---------|
| C. Fresca | 39.52 | 11.90 | 8.39  |         |
| DR ST O1  | 43.45 | 11.57 | 8.76  | 3.96    |
| DR ST O2  | 41.98 | 11.84 | 7.08  | 2.78    |
| DR ST O3  | 35.58 | 12.57 | 6.19  | 4.56    |
| DR SM O1  | 34.80 | 15.14 | 9.95  | 5.93    |
| DR SM O2  | 36.36 | 14.90 | 9.04  | 4.41    |
| DR SM O3  | 36.74 | 12.71 | 9.13  | 2.99    |
| DR LD O1  | 36.78 | 15.30 | 10.86 | 5.02    |
| DR LD O3  | 38.56 | 13.76 | 8.81  | 2.14    |
| DR LD O3  | 32.12 | 14.41 | 9.51  | 7.90    |
| DL ST O1  | 44.71 | 12.61 | 9.95  | 5.46    |
| DL ST O2  | 44.30 | 10.22 | 6.16  | 5.54    |
| DL ST O3  | 38.84 | 12.98 | 9.18  | 1.50    |
| DL SM O1  | 37.19 | 15.86 | 11.10 | 5.34    |
| DL SM O2  | 39.18 | 14.29 | 9.71  | 2.75    |
| DL SM O3  | 32.90 | 14.47 | 9.85  | 7.25    |
| DL LD O1  | 36.04 | 15.22 | 10.61 | 5.29    |
| DL LD O2  | 38.09 | 15.11 | 10.41 | 4.05    |
| DL LD O3  | 32.20 | 14.73 | 10.34 | 8.09    |

### 3.3. PERFIL DE COLOR EN EXUDADOS

Existen tres fracciones de agua en las células musculares, las cuales son: agua ligada, agua inmovilizada, y agua libre. El agua ligada es muy resistente a la congelación, pero las otras fracciones son fácilmente exudado de las células del músculo por congelación y descongelación (Kim *et al*, 2013). Por ello se hizo la determinación de perfil de color en los exudados generados por la carne durante la descongelación. En la figura 54 se presenta un gráfico general de los resultados obtenidos de evaluar perfil de color en los exudados.

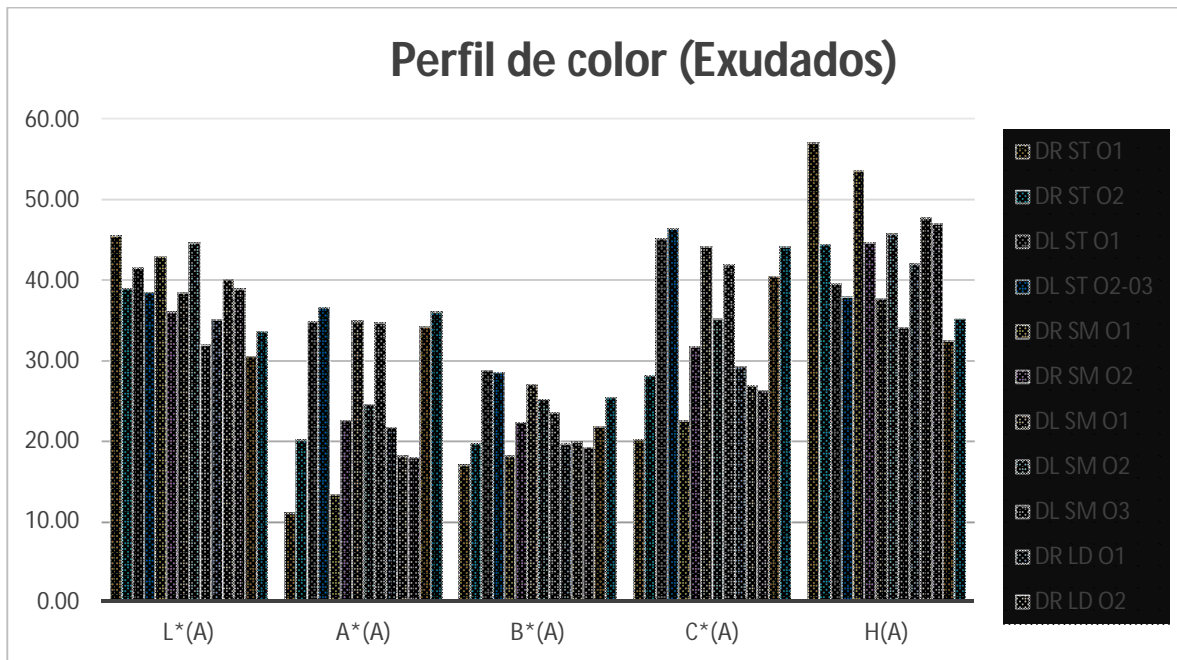


Figura 54. Grafica comparativa de los parámetros de perfil de color en los exudados de la carne en congelación-descongelación lenta, carne en congelación-descongelación rápida.

En las figuras 55-57 se muestran los datos obtenidos los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  respectivamente, en los tres casos se observa que los parámetros son mayor en la carne que fue descongelada utilizando un método lento, esto puede deberse a que en la carne que se descongela lentamente se da la reabsorción de cierta cantidad del jugo que fue liberado por la misma, mientras que los iones liberados nos son reabsorbidos, por lo cual los exudados que no son reabsorbidos se ven de un color más rojo, ya que la concentración en estos es más elevada que en el caso de la descongelación rápida donde la disolución de los iones arrastrados por los exudados es mayor.

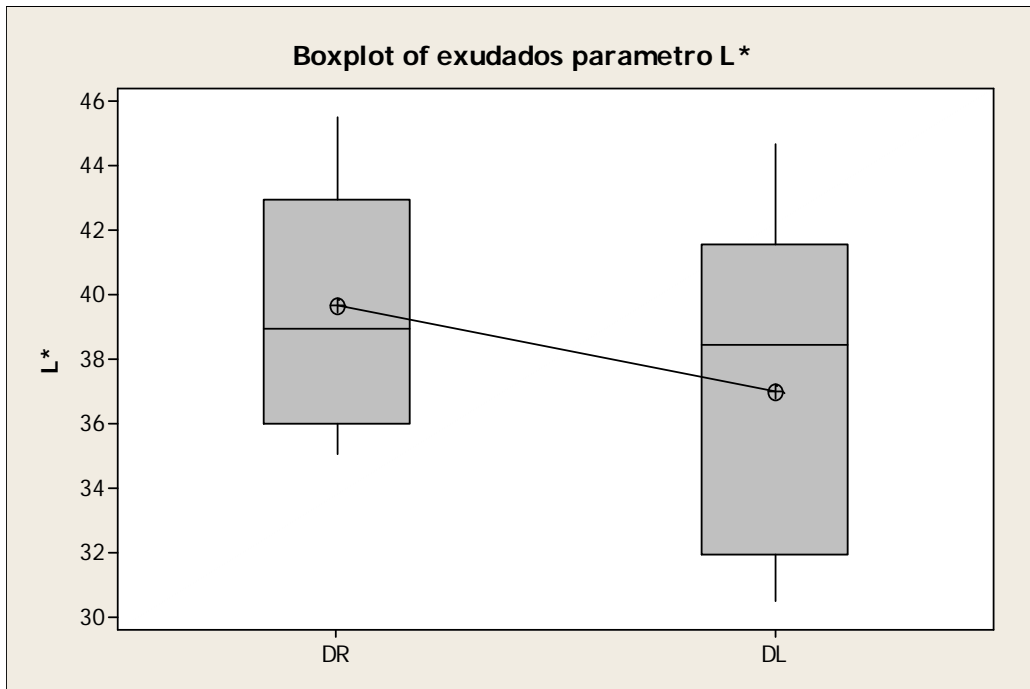


Figura 55. ANOVA del parámetro L\* en los exudados de la carne en congelación-descongelación rápida, carne en congelación-descongelación lenta

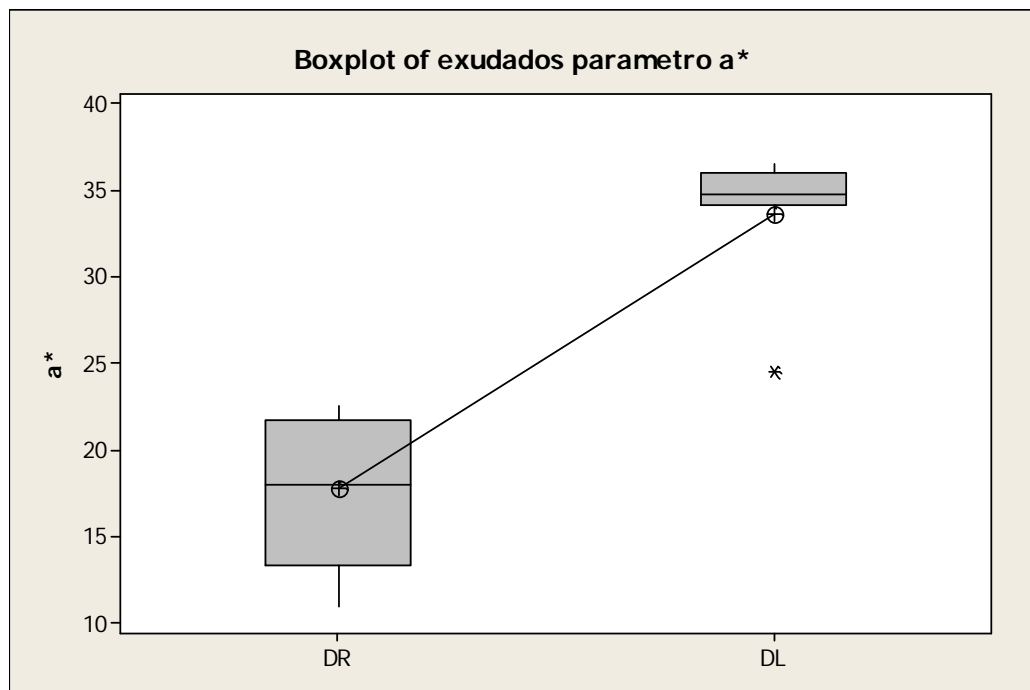


Figura 56. ANOVA del parámetro a\* en los exudados de la carne en congelación-descongelación rápida, carne en congelación-descongelación lenta

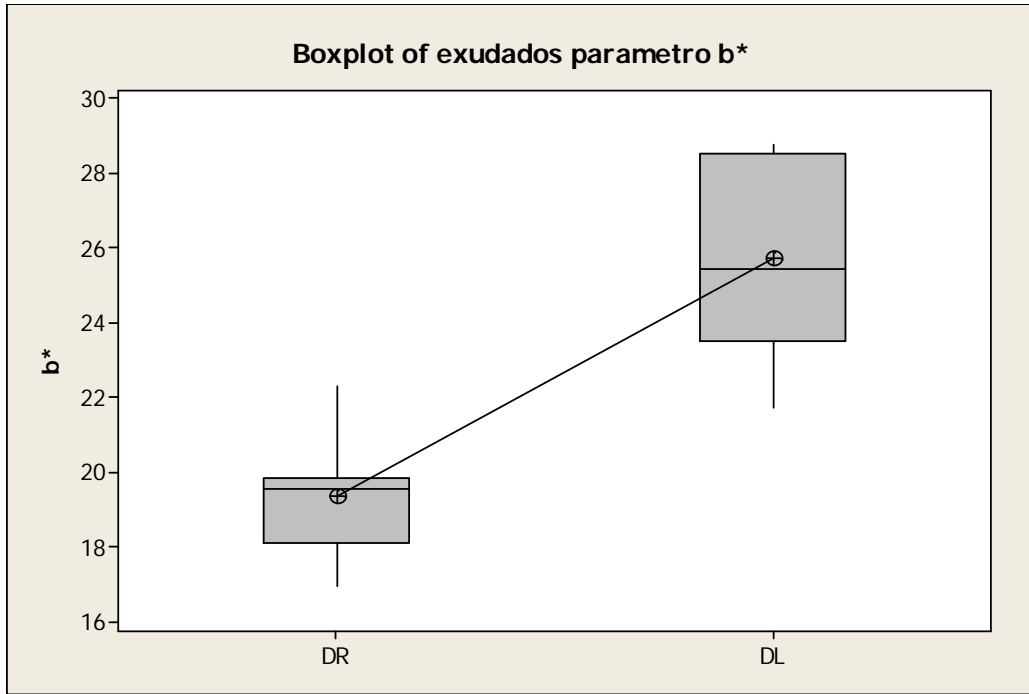


Figura 57. ANOVA del parámetro  $b^*$  en los exudados de la carne en congelación-descongelación rápida, carne en congelación-descongelación lenta

Para el caso de los parámetro  $C^*$  y  $h^*$  presentados en las figuras 58 y 59, ocurre lo mismo que con los parámetros anteriores, esto debido a que para la determinación de croma y del ángulo hue se utilizan los parámetros  $a^*$  y  $b^*$ .

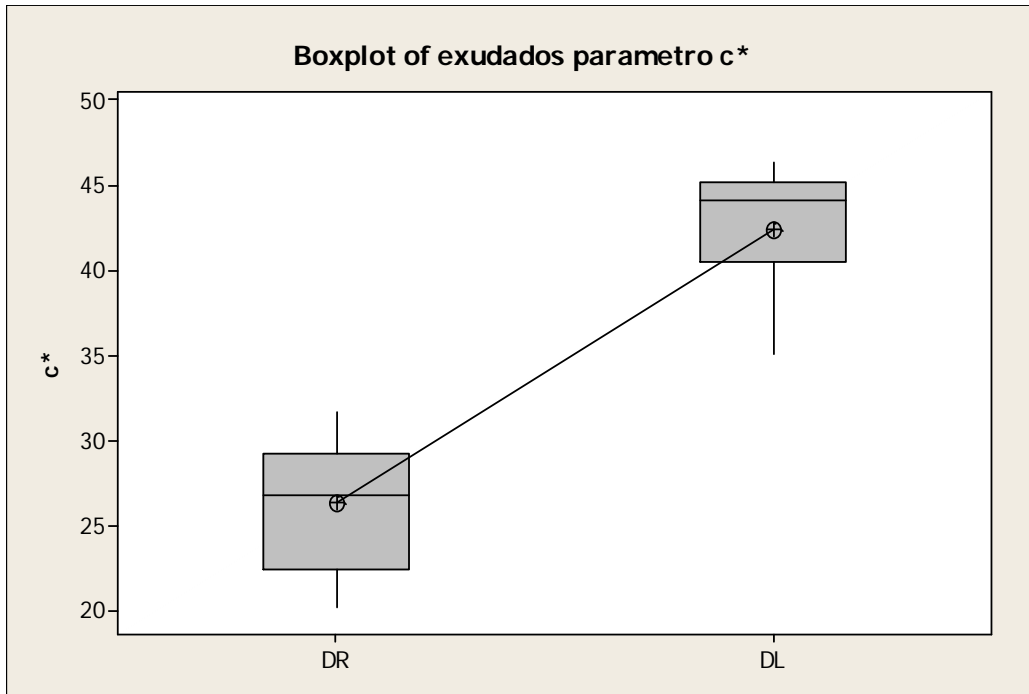


Figura 58. ANOVA del parámetro  $c^*$  en los exudados de la carne en congelación-descongelación rápida, carne en congelación-descongelación lenta

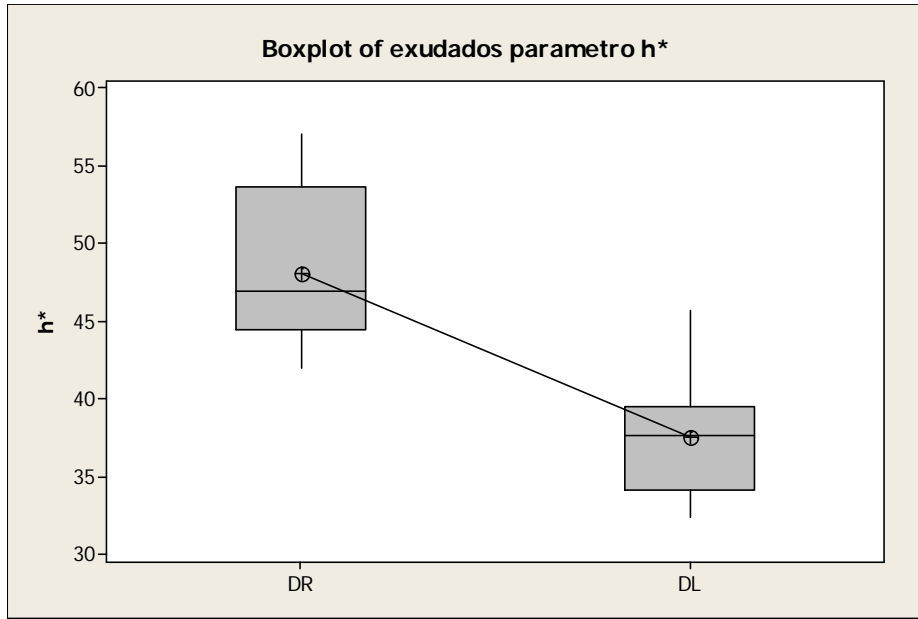


Figura 59. ANOVA del parámetro  $h^*$  en los exudados de la carne en congelación-descongelación rápida, carne en congelación-descongelación lenta

### 3.4. CURVA ESPECTRAL

En la figura 60, se presenta la curva espectral con la que se puede saber qué tipo de mioglobina se encuentra presente en la carne. Para los 3 casos se observó una tendencia creciente en la longitud de onda, 530-700 nm lo que indica una la detección de la oximioglobina, una carne de color rojo brillante.

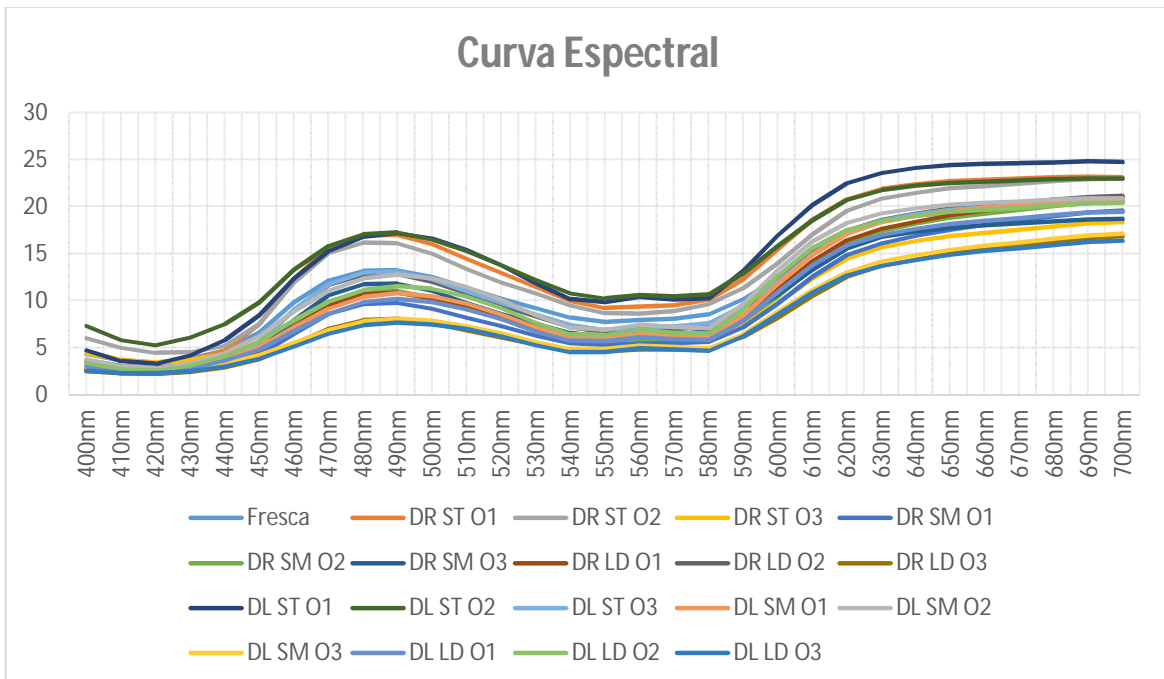


Figura 60. Curva espectral

### 3.5. CORRELACIÓN pH-COLOR

Para comprobar si existe o no una relación entre el pH y el color, se planteó el realizar una ecuación en la cual se correlacionaran los parámetros del perfil de color y el pH, siendo la forma general la siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$$

Dónde:

- \*  $X_1 = L^*$
- \*  $X_2 = a^*$
- \*  $X_3 = b^*$
- \*  $B_0 = 3.8304$
- \*  $B_1 = 0.0309$
- \*  $B_2 = 0.0553$
- \*  $B_3 = 0.0003$

Ya sustituyendo la ecuación queda de la siguiente manera:

$$pH = 3.8304 + 0.0309L^* + 0.0553a^* - 0.0003b^*$$

Para comprobar que la ecuación fue correcta se tomaron los datos obtenidos experimentalmente y fueron sustituidos en la ecuación. La ecuación tiene un error de  $\pm 0.74$ . Pero de forma general se ha reafirmado que el pH y el color están relacionados, siendo, los cambios de pH los que ocasionan el cambio en el color, ya que al disminuir demasiado el pH las proteínas miofibrilares son desnaturalizadas liberando agua, que es donde se encuentran las proteínas sarcoplásmicas (son hidrofílicas) y el tener un pH alto las proteínas miofibrilares quedan contraídas evitando la liberación del jugo de la carne.

Cuadro 5. Comprobación de correlación pH-color

|              | pH   | L*    | a*    | b*    | pH<br>(ecuación) | $\Delta$ pH |
|--------------|------|-------|-------|-------|------------------|-------------|
| CARNE FRESCA | 6.45 | 39.52 | 11.90 | 8.39  | 5.71             | 0.74        |
|              | 6.45 | 39.52 | 11.90 | 8.39  | 5.71             | 0.74        |
|              | 6.08 | 44.46 | 12.95 | 11.90 | 5.92             | 0.16        |
|              | 5.61 | 43.34 | 11.19 | 11.36 | 5.79             | -0.18       |
|              | 5.57 | 41.95 | 10.55 | 12.12 | 5.71             | -0.14       |
|              | 5.66 | 39.94 | 12.52 | 10.41 | 5.75             | -0.09       |
|              | 5.5  | 36.66 | 13.58 | 10.89 | 5.71             | -0.21       |
| DR ST O1     | 5.50 | 43.45 | 11.57 | 8.76  | 5.81             | -0.31       |
| DR ST O2     | 5.60 | 41.98 | 11.84 | 7.08  | 5.78             | -0.18       |
| DR ST O3     | 5.66 | 35.58 | 12.57 | 6.19  | 5.62             | 0.04        |
| DR SM O1     | 5.47 | 34.80 | 15.14 | 9.95  | 5.74             | -0.27       |
| DR SM O2     | 5.31 | 36.36 | 14.90 | 9.04  | 5.78             | -0.47       |
| DR SM O3     | 5.34 | 36.74 | 12.71 | 9.13  | 5.67             | -0.33       |
| DR LD O1     | 5.39 | 36.78 | 15.30 | 10.86 | 5.81             | -0.42       |
| DR LD O3     | 5.23 | 38.56 | 13.76 | 8.81  | 5.78             | -0.55       |
| DR LD O3     | 4.97 | 32.12 | 14.41 | 9.51  | 5.62             | -0.65       |
| DL ST O1     | 5.90 | 44.71 | 12.61 | 9.95  | 5.91             | -0.01       |
| DL ST O2     | 5.81 | 44.30 | 10.22 | 6.16  | 5.76             | 0.05        |
| DL ST O3     | 5.80 | 38.84 | 12.98 | 9.18  | 5.75             | 0.05        |
| DL SM O1     | 6.26 | 37.19 | 15.86 | 11.10 | 5.85             | 0.41        |
| DL SM O2     | 5.95 | 39.18 | 14.29 | 9.71  | 5.83             | 0.12        |
| DL SM O3     | 6.07 | 32.90 | 14.47 | 9.85  | 5.64             | 0.43        |
| DL LD O1     | 6.40 | 36.04 | 15.22 | 10.61 | 5.78             | 0.62        |
| DL LD O2     | 5.97 | 38.09 | 15.11 | 10.41 | 5.84             | 0.13        |
| DL LD O3     | 6.01 | 32.20 | 14.73 | 10.34 | 5.64             | 0.37        |



## CONCLUSIONES

Del análisis estadístico de los resultados obtenidos en esta investigación que permitió identificar el efecto de la congelación-descongelación de la carne de ovino, en algunos parámetros físicos (de perfil de color) y fisicoquímicos de pH, se puede concluir lo siguiente:

- \* El valor de pH no presenta cambios significativos ( $P > 0.05$ ) en el músculo semitendinoso el cual presenta valores de pH entre 5.5-5.8, mientras que en los músculos semimembranoso y el largo dorsal presentan cambios significativos ( $P < 0.05$ ), en la descongelación lenta teniendo un pH de 5.8-6.4.
- \* Los efectos más importantes de la congelación-descongelación, en términos de los parámetros de perfil de color, fueron observados en  $b^*$  (amarillo) el que sufrió más cambios, el cual tuvo resultados altamente significativos ( $P < 0.01$ ) respecto de la carne refrigerada.
- \* La aplicación de congelación rápida y descongelación lenta, favoreció la producción de menor cantidad de exudados y de mermas en el producto, respecto de la descongelación rápida, que generó mayor cantidad de exudados, con una diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ ) en los resultados obtenidos.
- \* Los resultados de esta experimentación demostraron que el pH y los parámetros de perfil de color en la carne de ovino guardan correlación, al aplicar ecuaciones para hacer predicciones en cuanto a los cambios de pH o los parámetros del perfil de color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), con la ayuda del programa Excel del paquete Microsoft Office 2013.

## REFERENCIAS

- American Meat Science Association. (2012). *Meat Color Measurement Guidelines*. Illinois.
- Angeles, O. M. (2006). Aditivos en la Industria Cárnica y Láctea. *Carnilac Industrial*, 33-38.
- Bianchi, G., Garibotto, G., Franco, J., Ballesteros, F., Betancur, O., & Fredd, O. (2008). Calidad de carne ovina: Impacto de las decisiones tomadas a lo largo de la cadena. *Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, UDELAR*.
- Bolado, S. J., Pérez, L. C., & Ríos, R. F. (2013). Practicas de manejo previo a la matanza en ovinos y su efecto en la calidad de la carne. *NACAMEH*(1), 1-16.
- FAO. (2007). *Buenas practicas para la industria de la carne*. Roma.
- FAO. (2008). *Carne y productos carnicos*. Obtenido de <http://www.fao.org/ag/ags/gestion-poscosecha/carne-y-productos-carnicos/es/>
- Fernández, S. A. (2007). *Evaluación de los cambios físicos de carne congelada de bovino congelada-descongelada y almacenada en refrigeración*. (Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos). FES-Cuautitlán Izcalli. UNAM. México.
- Garcia, M. G., Quintero, R., & López-Munguía, A. (2004). *Bioteconología alimentaria*. México: Limusa.
- Genot, C. (2003). *Congelación y calidad de la carne*. Zaragoza: ACRIBIA.
- Girard, J. P. (1991). *Tecnología de la carne y de los productos cárnicos*. Zaragoza: ACRIBIA.
- Girolami, A. N. (2013). Measure of meat using a computer vision system. *Meat Science*, 111-118.
- Hofmann, K. (1988). El pH una característica de calidad de la carne. *Fleischwirtsch*, 13-18.
- Horwitz, W. (2000). *Official methods of analysis of AOAC International* (Decimoséptima ed., Vol. II). Virginia: AOAC.
- INAC. Instituto Nacional de la Carne. (2004). *Manual de carne bovina y ovina*. Montevideo.
- INEGI. (2013). *ESTADÍSTICA DE SACRIFICIO DE GANADO EN RASTROS MUNICIPALES POR ENTIDAD FEDERATIVA 2007-2012*. Aguascalientes .
- Jacob, R. H., & Thomson, K. L. (2012). The importance of chill rate when characterising colour change of lamb meat during retail display. *Meat Science*(90), 478-484.
- Jasper, W., & Placker, R. (1978). *Conservación de la carne por el frío*. Zaragoza: ACRIBIA.
- Kim, G. D., Jung, E. Y., Lim, H. J., Yang, H., Joo, S., & Jeong, J. Y. (2013). Influence of meat exudates on the quality characteristics of fresh and freeze-thawed pork. *Meat Science*(95), 323-329.
- LACIE. (s.f.). *Libro blanco de la gestión de color* . Francia: LACIE.

- Lawrie, R. (1977). *Ciencia de la carne*. Zaragoza: Acribia.
- Lawrie, R. (1984). *Avances de la ciencia de la carne*. Zaragoza: ACRIBIA.
- Leygonie, C., Britz, T. J., & Hoffman, L. C. (2012). Impact of freezing and thawing on the quality of meat. *Meat Science*(91), 93-98.
- López, V. R., & Casp, V. A. (2004). *Tecnología de mataderos*. Madrid: Mundi Prensa.
- Martínez-Arellano, I., Severiano-Perez, P., Fernandez, J. F., & Ponce-Alquicira, E. (2013). Changes in the physicochemical and sensory characteristics in raw and grilled ovine meat. *SCI*(93), 1743-1750.
- Muela, E., Sañudo, C., Campo, M. M., Medel, I., & Beltrán, J. A. (2012). Effect of freezig method and frozen storage duration on lamb quality. *Meat Science*(90), 209-215.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-194-SSA1-2004. (s.f.). Especificaciones sanitarias en los establecimientos dedicados al sacrificio y faenado de animales para abasto, almacenamiento, transporte y expendio. México.
- Partida, P. J., Braña, V. D., Jimenez, S. H., Rios, R. F., & Buendía, R. G. (2013). *Producción de carne ovina*. Queretaro: SAGARPA.
- Prandl, O., Fischer, A., Schmidhofer, T., & Sinell, H. (1994). *Tecnología e higiene de la carne*. Zaragoza: ACRIBIA.
- Ranken, M. D. (2003). *Manual de industrias de la carne*. Madrid: AVM Ediciones.
- Reyes, J. (2004). *Universidad de Antofagasta* . Obtenido de Correlación Múltiple usando EXCEL: <http://www.uantof.cl/facultades/csbasicas/Matematicas/academicos/emartinez/estadistica/mt113/talleres/correlacion.html>
- Robinson, D. S. (1991). *Bioquímica y valor nutritivo de los alimentos*. Zaragoza: Acribia.
- SAGARPA. (2009). *Manual de buenas prácticas pecuarias en la producción de carne de ganado bovino en confinamiento*. México.
- SAGARPA. (2013). *Producción de Carne Ovina*. Queretaro.
- Santos, M. A. (1995). *Química y bioquímica de los alimentos*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Swatland, H. (2003). *Evaluación de la carne en la cadena de producción*. Zaragoza: Acribia.
- Teixeira, A., Batista, S., Delfa, R., & Cadavez, V. (2005). Lamb meat quality of two breeds with protected origin designation. Influence of breed, sex and live weight. *Meat Science*(71), 530-536.

- Torrescano, U. G., Sánchez, E. A., Peñuñuri, M. F., Velázquez, C. J., & Sierra, R. T. (2009). Características de la cana y calidad de la carne de ovino pelibuey, engordados en Hermosillo Sonora. *BIOTecnia*(1), 41-50.
- U.S. MEAT. (s.f.). *U.S. MEAT EXPORT FEDERATION*. Obtenido de Putting U.S. Meat on the World's Table:  
[http://www.usmef.org.mx/USmeat2/Paginas/inicio.php?accion=procesos\\_congelacion](http://www.usmef.org.mx/USmeat2/Paginas/inicio.php?accion=procesos_congelacion)
- Xia, X., Kong, B., Liu, J., Diao, X., & Liu, Q. (2012). Influence of different thawing methods on physicochemical changes and protein oxidation of porcine longissimus muscle. *LWT-Food Science and Technology*(46), 280-286.
- Xia, X., Kong, B., Lui, Q., & Liu, J. (2009). Physicochemical change and protein oxidation in porcine longissimus dorsi as influenced by different freeze–thaw cycles. *Meat Science*(83), 239-245.