

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ**  
**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA**

*Departamento de Tecnología Agroalimentaria*



**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE  
GELES CÁRNICOS A PARTIR DE CARNE DE AVE  
MECÁNICAMENTE RECUPERADA**

**TESIS DOCTORAL**

*Presentada por:*

Dña. Casilda Navarro Rodríguez de Vera

*Directoras:*

Dra. Dña Juana Fernández López  
Dra. Dña. M<sup>a</sup> Estrella Sayas Barberá

Orihuela, julio de 2005



**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ**  
**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA**

*Departamento de Tecnología Agroalimentaria*



**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE  
GELES CÁRNICOS A PARTIR DE CARNE DE AVE  
MECÁNICAMENTE RECUPERADA**

**Memoria realizada para optar al grado de Doctor, presentada por:**

Dña. Casilda Navarro Rodríguez de Vera

Orihuela, julio de 2005



SALVADOR CASTILLO GARCÍA, DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE  
TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

**Informa que:**

la Tesis Doctoral titulada "**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE GELES CÁRNICOS A PARTIR DE CARNE DE AVE MECÁNICA-MENTE RECUPERADA**" ha sido realizada por Dña. Casilda Navarro Rodríguez de Vera, bajo la dirección y supervisión de la Dra. Dña. Juana Fernández López y la Dra. Dña M<sup>a</sup> Estrella Sayas Barberá y que el Departamento ha dado su conformidad para que sea presentada ante la Comisión de Doctorado

En Orihuela a once de julio de dos mil cinco.

El Director del Departamento

Fdo: \_\_\_\_\_



---

Las Dras. Juana Fernández López, Profesora Ayudante Doctor y M<sup>a</sup> Estrella Sayas Barberá, Profesora Titular de Escuela Universitaria, ambas adscritas al Departamento de Tecnología Agroalimentaria de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández de Elche,

**CERTIFICAN QUE:** la memoria titulada “**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE GELES CÁRNICOS A PARTIR DE CARNE DE AVE MECANICAMENTE RECUPERADA**”, realizada para aspirar al grado Doctor y presentada por Dña. Casilda Navarro Rodríguez de Vera, bajo nuestra dirección, en las instalaciones del Departamento de Tecnología Agroalimentaria de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández, cumple las condiciones adecuadas para su aceptación como Tesis Doctoral, por lo que,

**AUTORIZAN** a la interesada a su presentación en el Departamento de Tecnología Agroalimentaria de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández.

Y para que así conste, a los efectos oportunos, se presenta dicha memoria, firmando el presente certificado en Orihuela a 11 de julio de 2005.

Fdo.: Dra. Juana Fernández López    Fdo.: Dra. M<sup>a</sup> Estrella Sayas Barberá

Fdo.: Dña. Casilda Navarro Rodríguez de Vera



## AGRADECIMIENTOS

---

Difícil, muy difícil, me va a resultar expresar todo lo que siento con palabras, pero, al menos, voy a intentarlo.

Al que ha intentado ponerme firme, por lo que no tengo nada más que palabras de agradecimiento por hacer de "malo", cuando en realidad sólo quería hacerme el bien, y por el que, sin duda, he podido acabar esta tesis. Gracias José Ángel.

A mis directoras, Juana y Estrella. Además de su ayuda y asesoramiento, su amistad y paciencia. He aprendido mucho de ellas y sólo espero que nuestra colaboración no haya hecho nada más que empezar.

Gracias a mis alumnos, que han tenido que soportar mis nervios. Gracias también a José María, a Yolanda, a Laura, a Luis, a Esther...

A los miembros del Departamento de Tecnología Agroalimentaria que, de una manera u otra, han colaborado en la elaboración de esta Tesis.

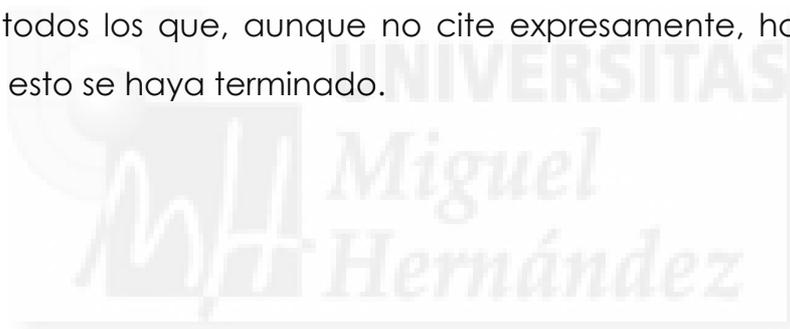
A mi viejecilla, esa que es como mi otra madre y a Marisol, que me han hecho de canguros para que yo pudiera dedicar a la tesis el mayor tiempo posible y, a la vez, estar tranquila de que mi niña estaba en buenas manos. A mis hermanos: al cura porque sé que no para de rezar por mí; a mi hermana Mané y a José, que están siempre conmigo cuando los necesito; a Pili, que la echo mucho de menos, y a todos mis sobrinos, por todo lo bueno que me dan. En especial, a mi hermano Roberto, por estar "AQUÍ", a Cristina. A mi padre, aunque no esté, por transmitirme la importancia de ser honrado.

Amigos son los que, en los momentos buenos, vienen si los llamas, y en los malos, viene solos: Marga, Miguel, Miguelito, Paula y Carlos, infinitas gracias: hacéis grande la palabra *amigo*.

A muchas personas que me han demostrado su apoyo en los malos momentos pasados, en especial a Tité: ahora, más que nunca, sigo pensando que eres la mejor madrina del mundo.

Irónicamente, también quiero dedicar esta tesis a todos aquellos que, tanto en lo personal como en lo profesional, han ido poniendo obstáculos en mi camino. Gracias a ellos me siento mejor persona y he comprobado que soy mucho más fuerte de lo que pensaba.

Y a todos los que, aunque no cite expresamente, han conseguido que esto se haya terminado.





**A mi sol y mi luna, mi hija Casi.**

Espero que cuando seas mayor te puedas sentir orgullosa de tu madre, como yo me siento de haberte tenido. Y espero también que me sepas perdonar todo el tiempo que no te he podido dedicar.

**A mi estrella, mi madre.**





Por fin, **se acabó**, bueno, mejor dicho, (porque sigo teniendo el constante propósito de intentar mirar la botella medio llena y no medio vacía, como hasta ahora la veía): **ahora empieza todo. A partir de ahora, yo voy a ser la causa de mi buena suerte.**







## ÍNDICE GENERAL

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>1.1. PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE CARNE DE AVE.....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>1.1.1. Evolución y distribución de la producción de carne de ave en el mundo .....</b>         | <b>2</b>  |
| <b>1.1.2. Evolución y distribución de la producción de carne de ave en la Unión Europea .....</b> | <b>3</b>  |
| <b>1.1.3. Situación actual de la oferta de carne de ave y de sus elaborados en España .....</b>   | <b>3</b>  |
| <i>1.1.3.1. Evolución y distribución de la producción de carne en España.....</i>                 | <i>3</i>  |
| <i>1.1.3.2. La industria del pollo para carne en España .....</i>                                 | <i>4</i>  |
| <b>1.1.4. Análisis del consumo de carne de ave.....</b>   | <b>5</b>  |
| <i>1.1.4.1. El consumo de carne de ave en el mundo .....</i>                                      | <i>5</i>  |
| <i>1.1.4.2. El consumo de carne de ave en la UE.....</i>  | <i>6</i>  |
| <i>1.1.4.3. El consumo de carne de ave en España .....</i>  | <i>7</i>  |
| <b>1.2. CARNE DE AVE MECÁNICAMENTE RECUPERADA.....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>1.2.1. Composición y propiedades físicas de la carne de ave mecánicamente recuperada.....</b>  | <b>10</b> |
| <i>1.2.1.1. Composición y valor nutritivo de la CAMR.....</i>                                     | <i>10</i> |
| <i>1.2.1.2. Proteínas de la carne de ave mecánicamente recuperada.....</i>                        | <i>11</i> |
| 1.2.1.2.1. Proteínas sarcoplasmáticas .....   | 12        |
| 1.2.1.2.1.1. La mioglobina .....  | 13        |
| 1.2.1.2.1.2. La hemoglobina .....   | 15        |
| 1.2.1.2.2. Proteínas miofibrilares.....   | 15        |
| 1.2.1.2.3. Proteínas del tejido conectivo.....  | 16        |
| <i>1.2.1.3. Cantidad y tamaño de las partículas de hueso presentes en la CAMR .....</i>           | <i>16</i> |
| <i>1.2.1.4. Cantidad de piel presente en la CAMR .....</i>  | <i>18</i> |

|  |           |
|--|-----------|
| 1.2.1.5. <i>Propiedades físicas de la carne de ave mecánicamente recuperada. La textura.</i> ..... | 19        |
| <b>1.2.2. Calidad de la carne de ave mecánicamente recuperada</b> .....                            | <b>20</b> |
| <b>1.2.3. Utilización de la carne de ave mecánicamente recuperada</b> .....                        | <b>20</b> |
| <b>1.3. TECNOLOGÍA DE LOS PRODUCTOS GELIFICADOS</b> .....  | <b>21</b> |
| <b>1.3.1. Introducción</b> .....   | <b>21</b> |
| <b>1.3.2. Propiedades de la actina y la miosina</b> .....  | <b>22</b> |
| 1.3.2.1. <i>Almacenamiento en congelación de producto tipo surimi</i> .....                        | 22        |
| 1.3.2.2. <i>Efecto del calor sobre la actina y la miosina</i> .....                                | 24        |
| 1.3.2.3. <i>La acción de la sal</i> .....  | 24        |
| <b>1.4. EL COLOR EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS</b> .....  | <b>25</b> |
| <b>1.4.1. Importancia del color</b> .....  | <b>25</b> |
| <b>1.4.2. Evaluación del color</b> .....   | <b>28</b> |
| 1.4.2.1. <i>Sistema HunterLab</i> .....  | 29        |
| 1.4.2.2. <i>Sistema CIEL*a*b*</i> .....  | 29        |
| <b>1.4.3. El color en la carne</b> .....   | <b>32</b> |
| 1.4.3.1. <i>El color en la CAMR</i> .....  | 33        |
| <b>1.5. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO</b> .....  | <b>34</b> |
| <b>2. OBJETIVOS</b> .....  | <b>35</b> |
| <b>2.1. OBJETIVO GENERAL</b> .....   | <b>35</b> |
| <b>2.2. OBJETIVOS PARTICULARES</b> .....   | <b>35</b> |
| <b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....   | <b>37</b> |
| <b>3.1. DISEÑO DE LAS EXPERIENCIAS</b> .....   | <b>37</b> |
| <b>3.1.1. Caracterización de la materia prima</b> .....  | <b>38</b> |
| <b>3.1.2. Determinación de las condiciones óptimas de lavado</b> .....                             | <b>39</b> |
| 3.1.2.1. <i>Tiempo de lavado y número de lavados</i> .....   | 39        |
| 3.1.2.2. <i>Aditivos de lavado</i> .....   | 40        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.1.3. Caracterización del proceso de obtención de geles cárnicos a partir de CAMR</b> ..... | <b>41</b> |
| 3.1.3.1. <i>Estudio de la etapa de lavado</i> .....   | 42        |
| 3.1.3.2. <i>Estudio de la etapa de congelación</i> .....  | 42        |
| 3.1.3.3. <i>Estudio de la etapa de gelificación</i> .....                                       | 42        |
| <b>3.2. METODOLOGÍA ANALÍTICA</b> .....   | <b>43</b> |
| <b>3.2.1. Determinaciones físico-químicas</b> .....   | <b>43</b> |
| 3.2.1.1. <i>Parámetros de color</i> .....   | 43        |
| 3.2.1.2. <i>pH</i> .....  | 44        |
| 3.2.1.3. <i>Textura</i> .....   | 45        |
| <b>3.2.2. Determinaciones químicas</b> .....  | <b>46</b> |
| 3.2.2.1. <i>Proteínas</i> .....   | 46        |
| 3.2.2.2. <i>Humedad</i> .....   | 46        |
| 3.2.2.3. <i>Cenizas</i> .....   | 47        |
| 3.2.2.4. <i>Grasa</i> .....   | 47        |
| 3.2.2.5. <i>Proporción de los diferentes estados de la mioglobina</i> .....                     | 47        |
| <b>3.3. METODOLOGÍA ESTADÍSTICA</b> .....   | <b>48</b> |
| <b>3.3.1. Caracterización de la materia prima</b> .....   | <b>48</b> |
| 3.3.1.1. <i>Caracterización química y físico-química de la materia prima</i> .....              | 48        |
| 3.3.1.2. <i>Estados de los hemopigmentos</i> .....  | 48        |
| <b>3.3.2. Determinación de las condiciones óptimas de lavado</b> .....                          | <b>49</b> |
| 3.3.2.1. <i>Tiempo de lavado y número de lavados</i> .....                                      | 49        |
| 3.3.2.2. <i>Aditivos de lavado</i> .....  | 49        |
| <b>3.3.3. Caracterización del proceso de obtención de geles cárnicos a partir de CAMR</b> ..... | <b>51</b> |
| 3.3.3.1. <i>Etapa de lavado</i> .....   | 51        |
| 3.3.3.2. <i>Etapa de congelación</i> .....  | 51        |
| 3.3.3.3. <i>Etapa de gelificación</i> .....   | 52        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>                                 | <b>53</b> |
| <b>4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....</b>                  | <b>53</b> |
| <b>4.1.1. Caracterización química.....</b>                             | <b>53</b> |
| <b>4.1.2. pH.....</b>  | <b>56</b> |
| <b>4.1.3. Color .....</b>  | <b>56</b> |
| 4.1.3.1. <i>Parámetros de color.....</i>                               | 56        |
| 4.1.3.2. <i>Espectros de reflexión .....</i>                           | 58        |
| 4.1.3.3. <i>Estados de los hemopigmentos en la CAMR.....</i>           | 62        |
| 4.1.3.3.1. Parámetros de color .....                                   | 62        |
| 4.1.3.3.1.1. <i>Coordenada luminosidad (L*).....</i>                   | 64        |
| 4.1.3.3.1.2. <i>Coordenada rojo-verde (a*) .....</i>                   | 65        |
| 4.1.3.3.1.3. <i>Coordenada amarillo-azul (b*) .....</i>                | 66        |
| 4.1.3.3.1.4. <i>Magnitud psicofísica croma (C*) .....</i>              | 67        |
| 4.1.3.3.1.5. <i>Magnitud psicofísica tono (H*) .....</i>               | 68        |
| 4.1.3.3.1.6. <i>Índice de rojez (a*/b*) .....</i>                      | 70        |
| 4.1.3.3.2. <i>Espectros de reflexión.....</i>                          | 71        |
| 4.1.3.3.2.1. <i>Espectros de reflexión de los tres es-</i>             |           |
| 4.1.3.3.2.1. <i>tados de los hemopigmentos en la CAMR.....</i>         | 71        |
| 4.1.3.3.2.2. <i>Espectros de reflexión de la forma</i>                 |           |
| 4.1.3.3.2.2. <i>oxigenada de los hemopigmentos en la CAMR y</i>        |           |
| 4.1.3.3.2.2. <i>la oximioglobina de pechuga y muslo de pollo .....</i> | 74        |
| 4.1.3.3.2.3. <i>Espectros de reflexión de la forma</i>                 |           |
| 4.1.3.3.2.3. <i>reducida de los hemopigmentos en la CAMR y</i>         |           |
| 4.1.3.3.2.3. <i>la deoximioglobina de pechuga y muslo de po-</i>       |           |
| 4.1.3.3.2.3. <i>llo.....</i>   | 78        |
| 4.1.3.3.2.4. <i>Espectros de reflexión de la forma</i>                 |           |
| 4.1.3.3.2.4. <i>oxidada de los hemopigmentos en la CAMR y la</i>       |           |
| 4.1.3.3.2.4. <i>metamioglobina de pechuga y muslo de pollo.....</i>    | 82        |
| <b>4.2. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE LA-</b>            |           |
| <b>VADO .....</b>  | <b>86</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>4.2.1. Selección del tiempo de lavado y número de lavados .....</b>                         | <b>86</b>  |
| 4.2.1.1. Caracterización química de la CAMR después del proceso de lavado.....                 | 86         |
| 4.2.1.2. Variación del contenido en proteínas del agua de lavado.....                          | 87         |
| 4.2.1.3. pH de la CAMR después del proceso de lavado .....                                     | 90         |
| 4.2.1.4. Comportamiento de los parámetros de color de la CAMR durante la etapa de lavado ..... | 91         |
| 4.2.1.4.1. Luminosidad ( $L^*$ ).....  | 92         |
| 4.2.1.4.2. Coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) .....   | 95         |
| 4.2.1.4.3. Coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ) .....  | 97         |
| 4.2.1.4.4. Magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ) .....  | 99         |
| 4.2.1.4.5. Magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ) .....   | 102        |
| 4.2.1.4.6. Índice de rojez ( $a^*/b^*$ ) .....   | 104        |
| <b>4.2.2. Estudio de los aditivos de lavado.....</b>   | <b>105</b> |
| 4.2.2.1. Cloruro sódico .....  | 106        |
| 4.2.2.1.1. Caracterización química de la CAMR lavada con cloruro sódico .....                  | 106        |
| 4.2.2.1.2. Caracterización físico-química de la CAMR lavada con NaCl .....                     | 108        |
| 4.2.2.2. Tripolifosfato sódico .....   | 126        |
| 4.2.2.2.1. Caracterización química de la CAMR lavada con tripolifosfato sódico (TPS).....      | 126        |
| 4.2.2.2.2. Caracterización físico-química de la CAMR lavada con tripolifosfato sódico .....    | 128        |
| 4.2.2.3. Lactato sódico .....  | 142        |
| 4.2.2.3.1. Caracterización química de la CAMR lavada con lactato sódico.....                   | 142        |
| 4.2.2.3.2. Caracterización físico-química de la CAMR lavada con lactato sódico .....           | 144        |

|   |            |
|---|------------|
| 4.2.2.4. <i>Ácido láctico</i> .....   | 159        |
| 4.2.2.4.1. Caracterización química de la CAMR lavada con ácido láctico .....                  | 159        |
| 4.2.2.4.2. Caracterización físico-química de la CAMR lavada con ácido láctico .....           | 161        |
| 4.2.2.5. <i>Bicarbonato sódico</i> .....  | 176        |
| 4.2.2.5.1. Caracterización química de la CAMR lavada con bicarbonato sódico.....              | 176        |
| 4.2.2.5.2. Caracterización físico-química de la CAMR lavada con bicarbonato sódico.....       | 178        |
| <b>4.3. CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE GELLES CÁRNICOS A PARTIR DE CAMR.....</b> | <b>193</b> |
| <b>4.3.1. Etapa de lavado.....</b>  | <b>193</b> |
| 4.3.1.1. <i>Color de la CAMR lavada</i> .....   | 194        |
| 4.3.1.1.1. Parámetros de color .....  | 194        |
| 4.3.1.1.2. Espectros de reflexión de la CAMR lavada .....                                     | 207        |
| 4.3.1.1.2.1. CAMR lavada con bicarbonato sódico .....   | 207        |
| 4.3.1.1.2.2. CAMR lavada con ácido láctico .....  | 210        |
| 4.3.1.1.2.3. CAMR lavada con cloruro sódico .....   | 214        |
| <b>4.3.2. Etapa de congelación.....</b>   | <b>216</b> |
| 4.3.2.1. <i>Color de la CAMR congelada</i> .....  | 216        |
| 4.3.2.1.1. Parámetros de color .....  | 216        |
| 4.3.2.1.2. Espectros de reflexión.....  | 235        |
| 4.3.2.1.2.1. CAMR lavada con bicarbonato sódico .....   | 235        |
| 4.3.2.1.2.2. CAMR lavada con ácido láctico .....  | 238        |
| 4.3.2.1.2.3. CAMR lavada con cloruro sódico .....   | 241        |
| <b>4.3.3. Etapa de gelificación .....</b>   | <b>244</b> |
| 4.3.3.1. <i>Color</i> .....   | 246        |
| 4.3.3.1.1. Parámetros de color .....  | 246        |

|   |            |
|---|------------|
| 4.3.3.1.2. Espectros de reflexión .....               | 262        |
| 4.3.3.1.2.1. CAMR lavada con bicarbonato sódico ..... | 262        |
| 4.3.3.1.2.2. CAMR lavada con cloruro sódico.....      | 264        |
| 4.3.3.2. Caracterización química .....                | 266        |
| 4.3.3.3 Textura .....                                 | 276        |
| <b>5. CONCLUSIONES.....</b>                           | <b>283</b> |
| <b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>                          | <b>287</b> |





## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Evolución de la cantidad de carne de ave consumida por habitante y año en la UE.....   | 7  |
| <b>Tabla 2.</b> Longitudes de onda del espectro visible, los colores y sus complementarios.....  | 26 |
| <b>Tabla 3.</b> Principales estados de la mioglobina, denominación del pigmento formado, estado de oxidación del hierro, mecanismos de formación y color originado.....  | 33 |
| <b>Tabla 4.</b> Concentraciones (%) de los aditivos empleados en la etapa de lavado de la CAMR.....  | 41 |
| <b>Tabla 5.</b> Clasificación de la prueba de plegado.....   | 46 |
| <b>Tabla 6.</b> Niveles del factor aditivo de lavado de la carne de ave mecánicamente recuperada.....  | 50 |
| <b>Tabla 7.</b> Niveles de los factores considerados en el estudio de la etapa de lavado.....  | 51 |
| <b>Tabla 8.</b> Niveles de los factores considerados en el estudio de la etapa de congelación.....   | 52 |
| <b>Tabla 9.</b> Niveles de los factores considerados en el estudio de la etapa de gelificación.....  | 52 |
| <b>Tabla 10.</b> Valores medios y desviación estándar (STD) del contenido en grasa, humedad, cenizas y proteínas de la CAMR.....   | 54 |
| <b>Tabla 11.</b> Parámetros de color obtenidos de la CAMR empleada en las experiencias y de pechuga y muslo de pollo.....  | 58 |
| <b>Tabla 12.</b> Resultados de los ANOVA realizados para los parámetros de color de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR, así como de los estados puros de la mioglobina (DMb, MMb y OMb) en pechuga y muslo de pollo..... | 63 |
| <b>Tabla 13.</b> Valores medios para los parámetros de color de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR,  |    |

|   |    |
|---|----|
| así como de los estados puros de la mioglobina (DMb, MMb y OMb) en pechuga y muslo de pollo .....   | 64 |
| <b>Tabla 14.</b> Longitudes de onda correspondientes a los puntos isobéuticos entre las formas oxigenada, oxidada y reducida de los hemopigmentos .....       | 74 |
| <b>Tabla 15.</b> Longitudes de onda correspondientes a los puntos isobéuticos entre las formas oxigenada de la CAMR y del muslo y pechuga de pollo (OMb)..... | 76 |
| <b>Tabla 16.</b> Longitudes de onda correspondientes a los puntos isobéuticos entre las formas reducida de la CAMR y del muslo y pechuga de pollo (DMb) ..... | 80 |
| <b>Tabla 17.</b> Longitudes de onda correspondientes a los puntos isobéuticos entre las formas oxidada de la CAMR y del muslo y pechuga de pollo (MMb) .....  | 84 |
| <b>Tabla 18.</b> Valores medios del contenido en grasa, humedad, cenizas y proteínas de la CAMR antes y después del proceso de lavado.....                    | 86 |
| <b>Tabla 19.</b> Resultado del ANOVA para la variable proteínas en el proceso de lavado de la CAMR .....  | 88 |
| <b>Tabla 20.</b> Valores medios de la concentración de proteínas del agua de lavado (g/L), con respecto al tiempo de lavados (min).....                       | 88 |
| <b>Tabla 21.</b> Valores medios de la concentración de proteínas del agua de lavado (g/L), con respecto al número de lavados.....                             | 89 |
| <b>Tabla 22.</b> Resultado del ANOVA para la variable pH en el proceso de lavado de la CAMR.....  | 90 |
| <b>Tabla 23.</b> Valores medios de pH de la CAMR durante el proceso de lavado .....   | 91 |
| <b>Tabla 24.</b> Resultado del ANOVA para los parámetros de color en el proceso de lavado con agua de la CAMR.....  | 92 |
| <b>Tabla 25.</b> Valores medios de la coordenada luminosidad (L*) de la CAMR después del proceso de lavado.....   | 93 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 26.</b> Valores medios de la coordenada rojo/verde ( $a^*$ ) de la CAMR después del proceso de lavado .....   | 95  |
| <b>Tabla 27.</b> Valores medios de la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ) de la CAMR después del proceso de lavado .....  | 97  |
| <b>Tabla 28.</b> Valores medios de la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ) de la CAMR después del proceso de lavado).....  | 100 |
| <b>Tabla 29.</b> Valores medios de la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ) de la CAMR después del proceso de lavado .....   | 102 |
| <b>Tabla 30.</b> Valores medios de la variable índice de rojez ( $a^*/b^*$ ) de la CAMR después del proceso de lavado .....  | 104 |
| <b>Tabla 31.</b> Resultado del Análisis de la Varianza (ANOVA) del contenido en cenizas, grasa, humedad y proteínas de la CAMR para distintas concentraciones de cloruro sódico.....   | 106 |
| <b>Tabla 32.</b> Valores medios del contenido en proteínas, grasa, humedad y cenizas de la CAMR después del proceso de lavado con distintas concentraciones de cloruro sódico.....   | 107 |
| <b>Tabla 33.</b> Resultado del Análisis de la Varianza (ANOVA) de las variables físico-químicas pH, coordenadas de color y magnitudes psicofísicas e índice de rojez de la CAMR para los factores concentración de aditivo de lavado y número de lavados .....   | 109 |
| <b>Tabla 34:</b> Valores medios de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), índice de rojez y pH de la CAMR para los factores número de lavados y concentración de cloruro sódico..... | 110 |
| <b>Tabla 35.</b> Criterio de Reppond y Babbitt (1997) aplicado a los valores medios de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ) de la CAMR después de cada lavado empleando diversos aditivos de lavado.....  | 113 |
| <b>Tabla 36.</b> Criterio de Reppond-Babbitt (1997) aplicado a los valores medios de la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) de la CAMR después de cada lavado empleando diversos aditivos de lavado .....  | 118 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabla 37.</b> Criterio de Reppond-Babbitt (1997) aplicado a los valores medios de la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ) de la CAMR después de cada lavado empleando diversos aditivos de lavado.....   | 120 |
| <b>Tabla 38.</b> Resultado del Análisis de la Varianza (ANOVA) del contenido en cenizas, grasa, humedad y proteínas de la CAMR para distintas concentraciones de tripolifosfato sódico (TPS).....   | 127 |
| <b>Tabla 39.</b> Valores medios del contenido en proteínas, grasa, humedad y cenizas de la CAMR después del proceso de lavado con distintas concentraciones de tripolifosfato sódico .....  | 127 |
| <b>Tabla 40.</b> Resultado del Análisis de la Varianza (ANOVA) de las variables físico-químicas pH, coordenadas de color y magnitudes psicofísicas e índice de rojez de la CAMR para los factores concentración de aditivo de lavado y número de lavados .....  | 129 |
| <b>Tabla 41.</b> Valores medios de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), índice de rojez y pH de la CAMR para los factores número de lavados y concentración de tripolifosfato sódico (TPS)..... | 130 |
| <b>Tabla 42.</b> Resultado del Análisis de la Varianza (ANOVA) del contenido en cenizas, grasa, humedad y proteínas de la CAMR para concentraciones de lactato sódico.....  | 142 |
| <b>Tabla 43.</b> Valores medios del contenido en proteínas, grasa, humedad y cenizas de la CAMR después del proceso de lavado con las distintas concentraciones de lactato sódico empleadas.....  | 143 |
| <b>Tabla 44.</b> Resultado del Análisis de la Varianza (ANOVA) de las variables físico-químicas pH, coordenadas de color y magnitudes psicofísicas e índice de rojez de la CAMR para los factores concentración de aditivo de lavado y número de lavados .....  | 145 |
| <b>Tabla 45.</b> Valores medios de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ),   |     |

|   |     |
|---|-----|
| índice de rojez y pH de la CAMR para los factores lavado y concentración de lactato sódico.....   | 146 |
| <b>Tabla 46.</b> Resultado del Análisis de la Varianza (ANOVA) del contenido en cenizas, grasa, humedad y proteínas de la CAMR para las distintas concentraciones de ácido láctico empleadas .....  | 159 |
| <b>Tabla 47.</b> Valores medios del contenido en proteínas, grasa, humedad y cenizas de la CAMR después del proceso de lavado con las distintas concentraciones de ácido láctico empleadas .....  | 160 |
| <b>Tabla 48.</b> Resultado del Análisis de la Varianza (ANOVA) de las variables físico-químicas pH, coordenadas de color y magnitudes psicofísicas e índice de rojez de la CAMR para los factores concentración de aditivo de lavado y número de lavados .....  | 162 |
| <b>Tabla 49.</b> Valores medios de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), índice de rojez y pH de la CAMR para los factores número de lavados y concentración de ácido láctico..... | 163 |
| <b>Tabla 50.</b> Resultado del Análisis de la Varianza (ANOVA) del contenido en cenizas, grasa, humedad y proteínas de la CAMR para las distintas concentraciones de bicarbonato sódico empleadas....   | 176 |
| <b>Tabla 51.</b> Valores medios del contenido en proteínas, grasa, humedad y cenizas de la CAMR después del proceso de lavado con las distintas concentraciones de bicarbonato sódico empleadas .....   | 177 |
| <b>Tabla 52.</b> Resultado del Análisis de la Varianza (ANOVA) de las variables físico-químicas pH, coordenadas de color y magnitudes psicofísicas e índice de rojez de la CAMR para los factores concentración de aditivo de lavado y número de lavados .....  | 179 |
| <b>Tabla 53.</b> Valores medios de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ),   |     |

|   |     |
|---|-----|
| índice de rojez y pH de la CAMR para los factores lavado y concentración de bicarbonato sódico (BS) .....   | 180 |
| <b>Tabla 54.</b> Resultado del análisis de la varianza (ANOVA) de las coordenadas de color y magnitudes psicofísicas e índice de rojez de la carne de ave mecánicamente recuperada para los factores aditivo de lavado y nº de lavados .....  | 195 |
| <b>Tabla 55.</b> Valores medios de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ) e índice de rojez de la carne de ave mecánicamente recuperada para los factores nº de lavado y aditivo empleado.....                         | 196 |
| <b>Tabla 56.</b> Resultado del análisis de la varianza (ANOVA) de las variables físico-químicas, coordenadas de color y magnitudes psicofísicas e índice de rojez de la carne de ave mecánicamente recuperada para el factor aditivo de lavado y crioprotector y su interacción.....  | 219 |
| <b>Tabla 57.</b> Valores medios de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), índice de rojez e índices de blancura de la carne de ave mecánicamente recuperada para los factores aditivo de lavado y crioprotector ..... | 220 |
| <b>Tabla 58.</b> Resultado del análisis de la varianza (ANOVA) de las coordenadas de color y magnitudes psicofísicas, índice de rojez e índices de blancura de la carne de ave mecánicamente recuperada, después de la gelificación, para el factor aditivo de lavado y crioprotector.....  | 247 |
| <b>Tabla 59.</b> Valores medios del test de Tukey de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), índice de rojez e índices de blancura de la carne   |     |

---

|   |     |
|---|-----|
| de ave mecánicamente recuperada gelificada para los factores aditivo de lavado y crioprotector .....  | 248 |
| <b>Tabla 60.</b> Resultado del análisis de la varianza (ANOVA) del contenido en grasa, humedad, cenizas y proteínas de la carne de ave mecánicamente recuperada para el factor aditivo de lavado y crioprotector .....  | 267 |
| <b>Tabla 61.</b> Valores medios del test de Tukey del contenido en grasa, humedad, cenizas y proteínas de la carne de ave mecánicamente recuperada gelificada para los factores aditivo de lavado y crioprotector ..... | 268 |
| <b>Tabla 62.</b> Resultados de los ANOVA realizados para los parámetros texturales de los geles elaborados con carne de ave mecánicamente recuperada.....   | 277 |
| <b>Tabla 63.</b> Valores medios del Test de Tukey de los parámetros texturales de los geles elaborados con carne de ave mecánicamente recuperada para los factores aditivo de lavado y crioprotector .....              | 278 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Evolución de la producción de carne de ave en el mundo.....   | 2  |
| <b>Figura 2.</b> Evolución de la producción de carne de ave en la UE.....  | 3  |
| <b>Figura 3.</b> Evolución de la producción de carne de ave en España.....   | 4  |
| <b>Figura 4.</b> Evolución del consumo de carne de ave en España.....  | 8  |
| <b>Figura 5.</b> Diagrama CIEL*a*b*.....   | 30 |
| <b>Figura 6.</b> Diagrama de flujo del proceso de elaboración del producto gelificado tipo surimi a partir de CAMR.....  | 41 |
| <b>Figura 7.</b> Espectro de reflexión (360-740 nm) de la CAMR y del muslo y pechuga de pollo .....  | 60 |
| <b>Figura 8.</b> Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro de la CAMR (400-700 nm) ..... | 62 |
| <b>Figura 9.</b> Valores de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ) para los tres estados de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR .....                            | 65 |
| <b>Figura 10.</b> Valores de la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) para los tres estados de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR .....                            | 66 |
| <b>Figura 11.</b> Valores de la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ) para los tres estados de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR.....                          | 67 |
| <b>Figura 12.</b> Valores de la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ) para los tres estados de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR.....                        | 68 |
| <b>Figura 13.</b> Valores de la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ) para los tres estados de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR.....                         | 69 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 14.</b> Valores del índice de rojez ( $a^*/b^*$ ) para los tres estados de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR.....                     | 71  |
| <b>Figura 15.</b> Espectros de reflexión (400-700 nm) de los tres estados de los hemopigmentos de la CAMR (oxigenado, oxidado y reducido).....                             | 72  |
| <b>Figura 16.</b> Espectros de reflexión (360-740 nm) de la forma oxigenada de los hemopigmentos en la CAMR y la oximioglobina de pechuga y muslo de pollo .....           | 75  |
| <b>Figura 17.</b> Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro de la CAMR ..... | 78  |
| <b>Figura 18.</b> Espectros de reflexión (360-740 nm) de la forma reducida de los hemopigmentos en la CAMR y la deoximioglobina de pechuga y muslo de pollo.....           | 79  |
| <b>Figura 19.</b> Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro de la CAMR ..... | 81  |
| <b>Figura 20.</b> Espectros de reflexión (360-740 nm) de la forma oxidada en la CAMR y la metamioglobina en pechuga y muslo de pollo .....                                 | 83  |
| <b>Figura 21.</b> Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro de la CAMR ..... | 85  |
| <b>Figura 22.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de cloruro sódico y número de lavados para la coordenada luminosidad ( $L^*$ ).....               | 114 |
| <b>Figura 23.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de cloruro sódico y número de lavados para la coordenada rojo-verde( $a^*$ ) .....                | 117 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 24.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de cloruro sódico y número de lavados para la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ).....               | 119 |
| <b>Figura 25.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de cloruro sódico y número de lavados de la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ) .....              | 122 |
| <b>Figura 26.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de cloruro sódico y número de lavados para la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ) .....             | 123 |
| <b>Figura 27.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de cloruro sódico y número de lavados del índice de rojez ( $a^*/b^*$ ) .....                       | 124 |
| <b>Figura 28.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de cloruro sódico y número de lavados del pH de la CAMR.....  | 126 |
| <b>Figura 29.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de tripolifosfato sódico (TPS) y número de lavados de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ) .....     | 132 |
| <b>Figura 30.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de tripolifosfato sódico (TPS) y número de lavados de la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ).....       | 134 |
| <b>Figura 31.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de tripolifosfato sódico (TPS) y número de lavados de la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ) .....   | 135 |
| <b>Figura 32.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de tripolifosfato sódico (TPS) y número de lavados de la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ) ..... | 137 |
| <b>Figura 33.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de tripolifosfato sódico (TPS) y número de lavados de la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ) .....  | 138 |
| <b>Figura 34.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de tripolifosfato sódico (TPS) y número de lavados del índice de rojez ( $a^*/b^*$ ) .....          | 140 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 35.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de tripolifosfato sódico (TPS) y número de lavados del pH de la CAMR .....              | 141 |
| <b>Figura 36.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de lactato sódico y número de lavados para la coordenada luminosidad ( $L^*$ ).....     | 149 |
| <b>Figura 37.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de lactato sódico y número de lavados para la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ).....      | 151 |
| <b>Figura 38.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de lactato sódico y número de lavados para la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ).....   | 152 |
| <b>Figura 39.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de lactato sódico y número de lavados para la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ )..... | 154 |
| <b>Figura 40.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de lactato sódico y número de lavados para la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ).....  | 155 |
| <b>Figura 41.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de lactato sódico y número de lavados para el índice e rojez ( $a^*/b^*$ ).....         | 157 |
| <b>Figura 42.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de lactato sódico y número de lavados para el pH de la CAMR .....                       | 158 |
| <b>Figura 43.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de ácido láctico y número de lavados para la coordenada luminosidad ( $L^*$ ).....      | 166 |
| <b>Figura 44.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de ácido láctico y número de lavados para la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ).....       | 168 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 45.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de ácido láctico y número de lavados para la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ).....                 | 169 |
| <b>Figura 46.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de ácido láctico y número de lavados para la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ) .....              | 171 |
| <b>Figura 47.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de ácido láctico y número de lavados para la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ) .....               | 172 |
| <b>Figura 48.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de ácido láctico y número de lavados para el índice ce rojez ( $a^*/b^*$ ) .....                     | 174 |
| <b>Figura 49.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de ácido láctico y número de lavados para el pH de la CAMR .....                                     | 175 |
| <b>Figura 50.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de bicarbonato sódico y número de lavados para la coordenada luminosidad ( $L^*$ ).....              | 182 |
| <b>Figura 51.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de bicarbonato sódico y número de lavados para la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) .....              | 183 |
| <b>Figura 52.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de bicarbonato sódico y número de lavados para la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ) .....           | 186 |
| <b>Figura 53.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de bicarbonato cloruro sódico y número de lavados para la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ) ..... | 187 |
| <b>Figura 54.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de bicarbonato sódico y número de lavados para la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ) .....          | 189 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 55.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de bicarbonato sódico y número de lavados para el índice de rojez ( $a^*/b^*$ ) .....  | 190 |
| <b>Figura 56.</b> Representación gráfica de la interacción concentración de cloruro sódico y número de lavados para el pH de la CAMR.....   | 192 |
| <b>Figura 57.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y número de lavados para la coordenada luminosidad ( $L^*$ ).....   | 197 |
| <b>Figura 58.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y número de lavados para la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ).....  | 199 |
| <b>Figura 59.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y número de lavados para la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ).....   | 201 |
| <b>Figura 60.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y número de lavados para la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ).....   | 203 |
| <b>Figura 61.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y número de lavados para la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ).....  | 205 |
| <b>Figura 62.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y número de lavados para el índice de rojez ( $a^*/b^*$ ).....  | 206 |
| <b>Figura 63.</b> Espectro de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada sin lavar y después de cada uno de los tres lavados con bicarbonato sódico (0,25%) consecutivos a los que se sometió la muestra.....     | 208 |
| <b>Figura 64.</b> Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro (360-740 nm) de la CAMR sin lavar y lavada con bicarbonato sódico (0,25%) ..... | 210 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 65.</b> Espectro de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada sin lavar y después de cada uno de los tres lavados con ácido láctico (0,75%) consecutivos a los que se sometió la muestra .....    | 211 |
| <b>Figura 66.</b> Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro (360-740 nm) de la CAMR sin lavar y lavada con ácido láctico (0,75%) ..... | 213 |
| <b>Figura 67.</b> Espectro de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada sin lavar y después de cada uno de los tres lavados con cloruro sódico (1%) consecutivos a los que se sometió la muestra .....      | 214 |
| <b>Figura 68.</b> Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro (360-740 nm) de la CAMR sin lavar y lavada con cloruro sódico (1%) .....   | 216 |
| <b>Figura 69.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y crioprotector para la coordenada luminosidad ( $L^*$ ) .....   | 222 |
| <b>Figura 70.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y crioprotector para la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) .....  | 224 |
| <b>Figura 71.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y crioprotector para la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ).....  | 225 |
| <b>Figura 72.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y crioprotector para la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ).....  | 227 |
| <b>Figura 73.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y crioprotector para la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ).....   | 229 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 74.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y crioprotector para el índice de rojez ( $a^*/b^*$ ) .....  | 231 |
| <b>Figura 75.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y crioprotector para el IB 1.....  | 233 |
| <b>Figura 76.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y crioprotector para el IB 2.....  | 234 |
| <b>Figura 77.</b> Espectros de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada con bicarbonato sódico a la que se le añadió como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%, así como la muestra control) .....   | 236 |
| <b>Figura 78.</b> Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro (360-740 nm) de la CAMR lavada con bicarbonato sódico a la que se le añadió como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%) así como la muestra control (sin crioprotector).....         | 238 |
| <b>Figura 79.</b> Espectros de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada con ácido láctico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%, así como la muestra control (sin crioprotector).....   | 239 |
| <b>Figura 80.</b> Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro (360-740 nm) de la CAMR lavada con ácido láctico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (TPS) (0,2%), así como la muestra control (sin crioprotector) ..... | 241 |
| <b>Figura 81.</b> Espectros de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada con cloruro sódico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%) .....   | 242 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 82.</b> Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro (360-740 nm) de la CAMR lavada con cloruro sódico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%), así como la muestra control (sin crioprotector) ..... | 244 |
| <b>Figura 83.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS, NaCl) y crioprotector para la coordenada luminosidad (L*) .....   | 250 |
| <b>Figura 84.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS, NaCl) y crioprotector para la coordenada rojo-verde (a*).....   | 252 |
| <b>Figura 85.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS, NaCl) y crioprotector para la coordenada amarillo-azul (b*).....  | 254 |
| <b>Figura 86.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS, NaCl) y crioprotector para la magnitud psicofísica croma (C*).....  | 256 |
| <b>Figura 87.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS, NaCl) y crioprotector para la magnitud psicofísica tono (H*).....   | 257 |
| <b>Figura 88.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS, NaCl) y crioprotector para el índice de blancura (IB1).....   | 259 |
| <b>Figura 89.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS, NaCl) y crioprotector para el índice de blancura (IB2).....   | 261 |
| <b>Figura 90.</b> Espectros de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada con bicarbonato sódico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%) después de la etapa de gelificación .....  | 262 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 91.</b> Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro (360-740 nm) de la CAMR lavada con bicarbonato sódico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%) después de la etapa de gelificación ..... | 263 |
| <b>Figura 92.</b> Espectros de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada con cloruro sódico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%) después de la etapa de gelificación.....  | 264 |
| <b>Figura 93.</b> Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro (360-740 nm) de la CAMR lavada con cloruro sódico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%) después de la etapa de gelificación .....     | 266 |
| <b>Figura 94.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS y NaCl) y crioprotector (sorbitol y TPS) para el contenido en humedad de la CAMR .....  | 270 |
| <b>Figura 95.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS y NaCl) y crioprotector (sorbitol y TPS) para el contenido en grasa de la CAMR.....   | 271 |
| <b>Figura 96.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS y NaCl) y crioprotector (sorbitol y TPS) para el contenido en cenizas de la CAMR.....   | 273 |
| <b>Figura 97.</b> Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS y NaCl) y crioprotector (sorbitol y TPS) para el contenido en proteínas de la CAMR.....   | 275 |



**CAPÍTULO I**

**INTRODUCCIÓN**



## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de nuevos productos es uno de los puntales en la investigación dentro de la Tecnología Agroalimentaria. Sin duda alguna, en los países del primer mundo, donde las necesidades básicas alimenticias del individuo están sobradamente cubiertas, son otras las cuestiones que deben plantearse a la hora de lanzar al mercado un nuevo producto. Dos líneas prioritarias se están desarrollando en la actualidad: ampliar la oferta de alimentos funcionales existentes en el mercado y encontrar nuevos usos a los subproductos de la industria alimentaria y darles, de esta forma, un valor añadido (Schieber *et al.*, 2001; Fernández-López *et al.*, 2004a; Sangtherapitikul *et al.*, 2005).

Un caso particular, de lo anteriormente expuesto, lo constituiría la carne de ave mecánicamente recuperada, con un elevado contenido en proteínas de alto valor biológico y que, hasta ahora, era infrutilizada (fundamentalmente se emplea en la elaboración de comidas para mascotas) (Rivera *et al.*, 2000b).

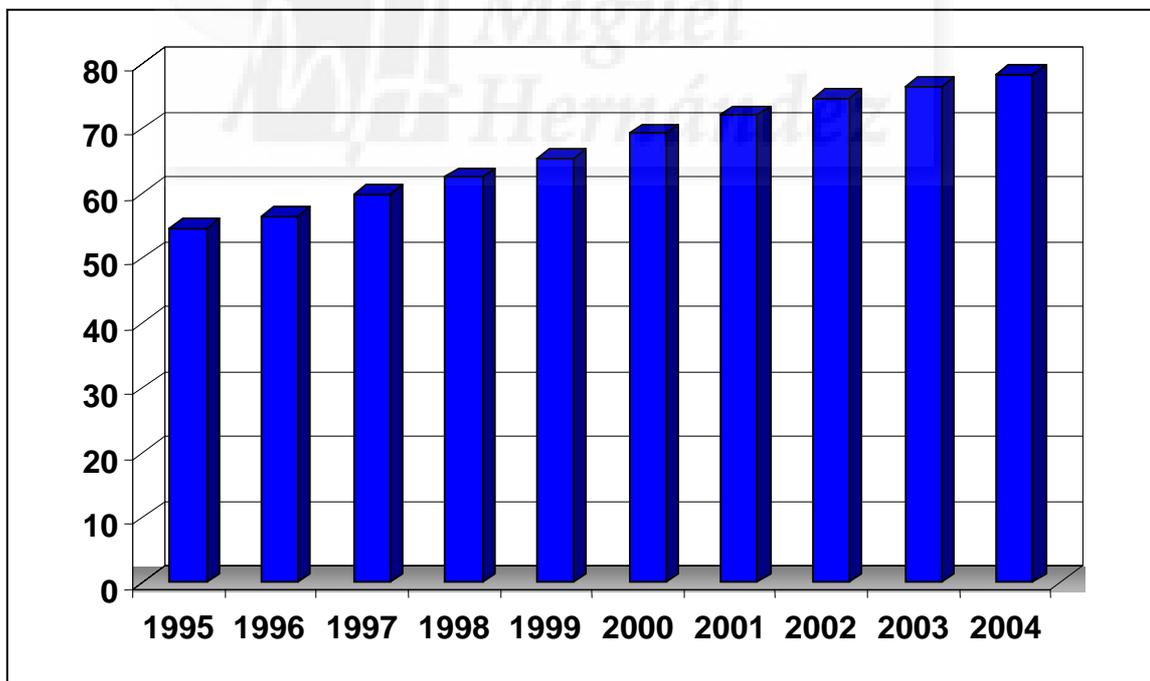
Por otro lado, en los últimos años, se ha importado a Occidente la tecnología de elaboración de *surimi* y sus derivados, productos que han tenido una estupenda acogida entre los consumidores americanos y europeos.

Es por esto, que se plantea el estudio de la capacidad de elaborar productos tipo *surimi* a partir de carne de ave mecánicamente recuperada. El principal problema que se presenta a la hora de poder utilizar esta materia prima es la necesidad de “blanquear” el producto, lo cual se consigue mediante la eliminación de los hemopigmentos y de la grasa que contiene.

## 1.1. PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE CARNE DE AVE

### 1.1.1. Evolución y distribución de la producción de carne de ave en el mundo

En la figura 1 se representan los datos sobre la producción de carne de ave en el mundo para el periodo comprendido entre 1995 y 2004. La producción mundial en el año 1995 fue de 54,71 miles de millones de toneladas, con un crecimiento anual que oscila entre el 3,1% entre los años 1995 y 1996 hasta un 6,0% entre 1996 y 1997, alcanzándose ese último año una producción de 59,81 miles de millones de toneladas. Coincidiendo con la crisis de las dioxinas, se produjo una deceleración en la producción mundial de aves. Desde 1995 hasta 2004 la producción ha crecido en un 30,1%.

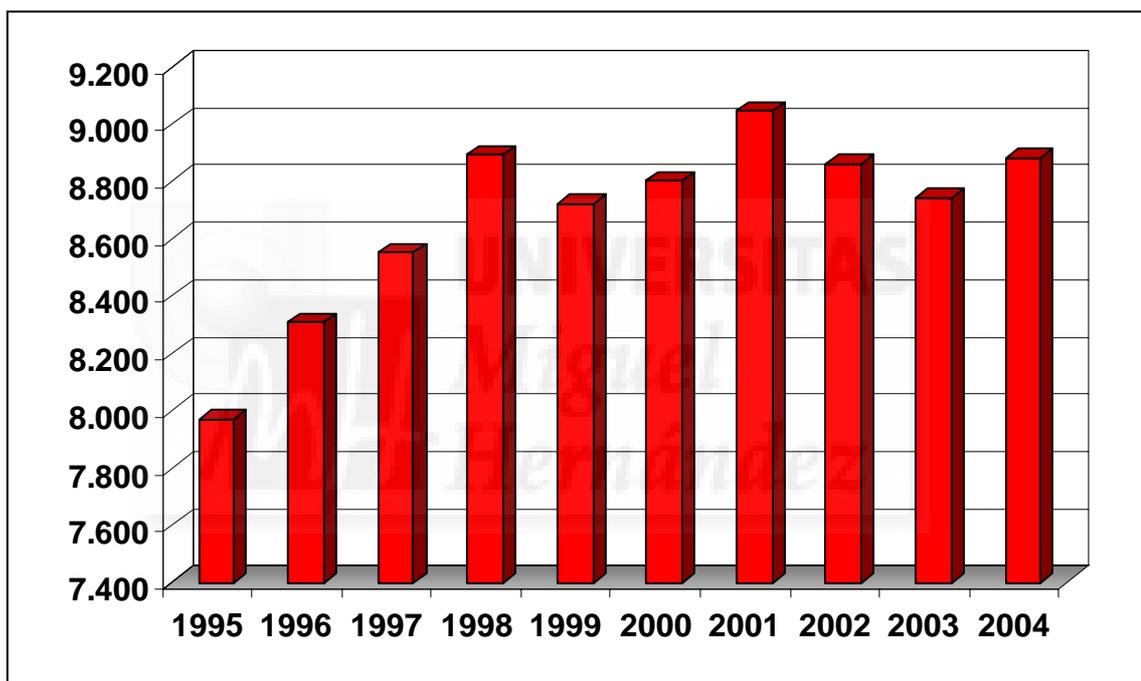


**Figura 1.** Evolución de la producción de carne de ave en el mundo

Datos en Millones de toneladas. Fuente: FAO, 2005

### 1.1.2. Evolución y distribución de la producción de carne de ave en la Unión Europea

En la figura 2 se presentan los datos sobre la producción de carne de ave en la Unión Europea en el período comprendido entre 1995 y 2004. La producción desde el año 1995 (7.970 millones de toneladas) presenta ligeras variaciones, con fluctuaciones anuales, positivas o negativas, en torno al 2,4% anual. La variación neta entre los años 1995 y 2004 ha sido de un +10,3%.



**Figura 2.** Evolución de la producción de carne de ave en la UE

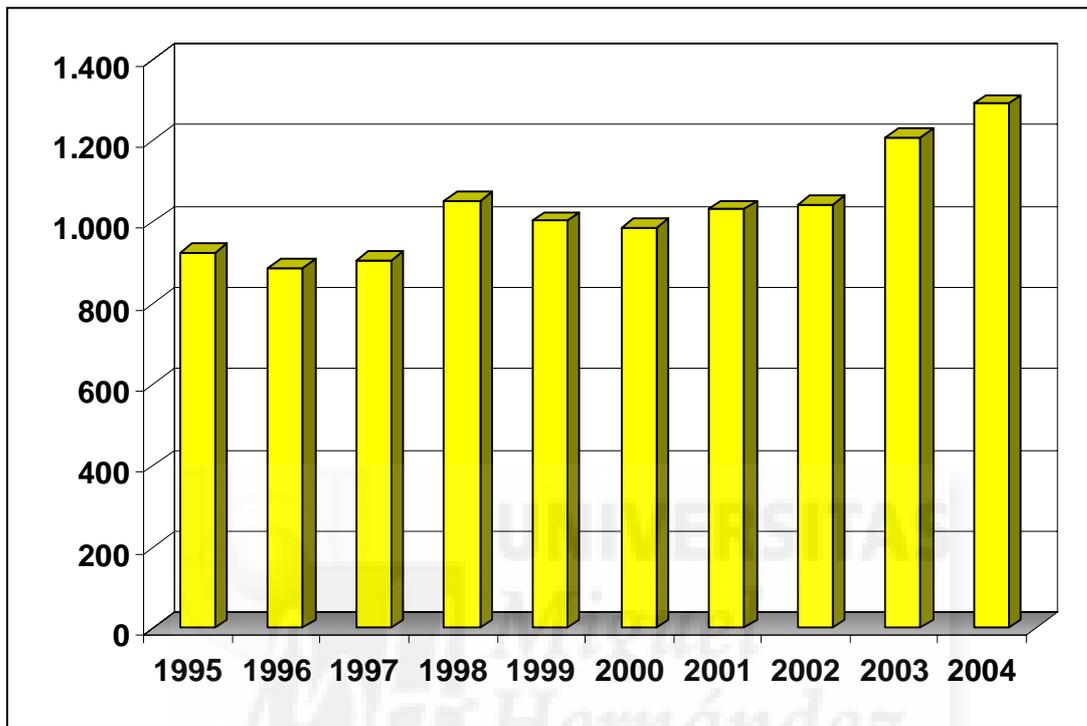
Datos en Miles de toneladas. Fuente: FAO, 2005

### 1.1.3. Situación actual de la oferta de carne de ave y de sus elaborados en España

#### 1.1.3.1. Evolución y distribución de la producción de carne en España

En el año 2004 se obtuvieron en España 1.290 miles de toneladas de carne de ave. En el período comprendido entre los años 1995

y 2004, el sacrificio de aves ha aumentado un 39,6%, muy por encima de la media de la Unión Europea, con un aumento de tan solo el 11%; mientras que en el mundo el aumento de estaba cercano al 30% en ese mismo periodo de tiempo (Figura 3).



**Figura 3.** Evolución de la producción de carne de ave en España

ña

Datos en Miles de toneladas. Fuente: FAO, 2005

El número de empresas en el sector avícola en España, tanto en 1996 como en 1997 oscilaba alrededor de las 800 y el número medio de empleados por empresa es cercano a 20. Las principales empresas del sector avícola son AGROVIC (20% de cuota de mercado), SADA, COREN, GUISSONA y DAGU (Mula, 1999).

#### 1.1.3.2. La industria del pollo para carne en España

En la segunda mitad del siglo XX, la carne de pollo pasó a ser de consumo masivo y barata, debido al corto periodo de crecimiento

y engorde de los *broilers*, o pollos de engorde. Junto a esta mejora en la producción de carne de pollo, hay que añadir que resulta una carne nutritiva y apta para todas las edades, fácil de preparar y sin ninguna contraindicación por motivos religiosos .

La consolidación del sistema de integraciones (por el que una empresa aportaba los pollitos, el pienso y sus servicios técnicos, mientras que los avicultores contribuían con el resto de los medios para llevar a cabo la crianza) que comenzó en España en los años setenta, se prolonga hasta nuestros días y, en la actualidad, casi todos los grandes grupos que se sitúan por encima de las 10.000 toneladas anuales de producción, abarcan desde el pollito hasta la comercialización del pollo en canal. Se abre una etapa de reajustes, principalmente fusiones, que daría lugar a grupos cuyas nuevas dimensiones favorecerían la apuesta por productos de mayor valor añadido. Para ello, algunas empresas están potenciando una línea de producción "pollo certificado", que pretende dar una mayor garantía sanitaria a una carne con reducidos márgenes comerciales (Anónimo, 2002a). Otras empresas, intentan aumentar el valor añadido de los productos cárnicos derivados de la carne de pollo, siendo los productos cocidos los más beneficiados por el cambio operado en los hábitos de consumo de los últimos años (Anónimo, 2002b).

#### **1.1.4. Análisis del consumo de carne de ave**

##### *1.1.4.1. El consumo de carne de ave en el mundo*

En el mundo, en el año 2002 se ha consumido 11,7 kg por habitante y año, de carne de ave. El mayor consumo *per cápita* se registra en Norteamérica (48,5 kg), seguido de Oceanía (27,1 kg), Sudamérica (25,8 kg) y Europa (18,6 kg). En Asia y África el consumo *per*

cápita es inferior a la media mundial, con 5,9 kg por habitante y 4,1 kg por habitante, respectivamente (FAO, 2005).

La evolución en el período comprendido entre los años 1995 y 2002 ha sido positiva en todos los casos, registrándose un incremento del 24,5% en el mundo. Por encima de este aumento, hay que destacar el incremento que ha tenido lugar en Asia (30,2%), Sudamérica (30,3%) y Oceanía (28,4%). En Norteamérica, África y Europa las variaciones, aunque positivas, han sido menores que las mundiales, 15,5%, 22,2% y 24,0%, respectivamente. En África, cerca del 24,5% de carne consumida corresponde a carne de ave. En Norteamérica dicho consumo asciende al 34,5%. El consumo en Sudamérica es del 34,3%, en Asia 19,3%, en Europa el 20,4% y, finalmente, en Oceanía el 21,6% (FAO, 2005).

#### *1.1.4.2. El consumo de carne de ave en la UE*

El consumo de carne de ave en la UE en el año 2002 ha sido de 21,1 kg por habitante y año. La evolución del consumo de carne de ave en el período comprendido entre 1995 y 2002 ha sido positiva, con un incremento de un 9,3% en el conjunto de la UE. Únicamente en tres países ha tenido lugar un descenso: en los Países Bajos, en Bélgica-Luxemburgo y en España. Los mayores incrementos experimentados han sido los de Portugal, Finlandia y Suecia (Tabla 1).

**Tabla 1.** Evolución de la cantidad de carne de ave consumida por habitante y año en la UE

|              | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| España       | 24,9 | 24,0 | 23,9 | 23,9 | 23,5 | 23,2 | 26,2 | 26,4 |
| Francia      | 23,7 | 25,6 | 26,3 | 26,6 | 25,3 | 26,2 | 27,6 | 27,7 |
| Grecia       | 17,2 | 13,6 | 16,6 | 17,2 | 17,5 | 17,6 | 19,6 | 17,7 |
| Italia       | 18,2 | 18,5 | 18,4 | 18,4 | 19,0 | 19,6 | 18,2 | 17,9 |
| Portugal     | 18,2 | 21,1 | 26,2 | 13,2 | 27,3 | 27,2 | 29,3 | 25,5 |
| Alemania     | 11,8 | 13,6 | 13,2 | 13,9 | 12,7 | 13,1 | 14,4 | 13,5 |
| Austria      | 15,0 | 15,1 | 15,7 | 15,8 | 16,2 | 16,5 | 17,8 | 17,2 |
| Bélg.-Lux.   | 21,7 | 21,2 | 18,7 | 18,4 | 19,1 | 19,4 | 19,6 | 19,6 |
| Dinamarca    | 16,7 | 16,0 | 18,3 | 16,6 | 17,5 | 17,5 | 20,4 | 20,3 |
| Finlandia    | 8,7  | 10,3 | 10,3 | 11,9 | 12,7 | 12,6 | 14,0 | 21,7 |
| Irlanda      | 25,8 | 26,0 | 24,8 | 25,9 | 28,8 | 29,4 | 28   | 27,7 |
| Países Bajos | 18,5 | 21,4 | 18,8 | 18,4 | 15,0 | 13,4 | 13,9 | 13,1 |
| Reino Unido  | 25,0 | 26,0 | 25,4 | 28,1 | 27,9 | 28,4 | 29,2 | 28,9 |
| Suecia       | 8,2  | 9,1  | 12,1 | 8,5  | 12,2 | 11,2 | 11,2 | 12,2 |
| Total UE-15  | 19,2 | 20,1 | 20,0 | 20,8 | 20,3 | 20,6 | 21,6 | 21,1 |

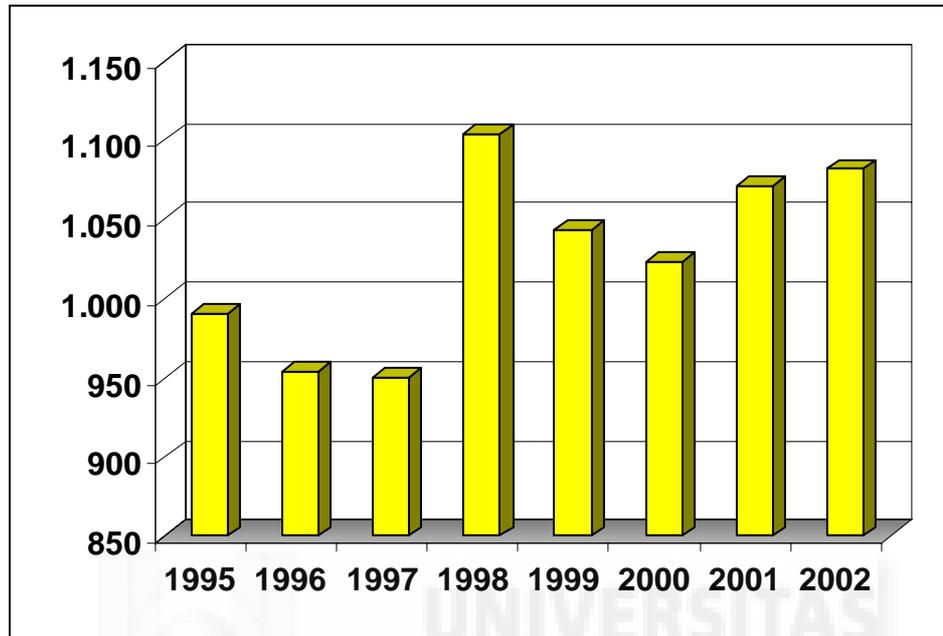
Datos en kg por habitante y año. Fuente: FAO, 2005

Bélg.-Lux.: Bélgica y Luxemburgo

#### 1.1.4.3. El consumo de carne de ave en España

En la figura 4 se representa la evolución del consumo de carne de ave en España durante el periodo 1995-2002. La cantidad comprada de carne de ave en España en el año 2002 ha sido de 1.081 miles de

toneladas. El 35% de la carne fresca comprada en España en el año 2002 corresponde a carne de ave. El incremento en el periodo considerado correspondiente al consumo de carne de ave es del 5,2%.



**Figura 4.** Evolución del consumo de carne de ave en España

Datos en miles de toneladas. Fuente: FAO, 2005

## 1.2. CARNE DE AVE MECÁNICAMENTE RECUPERADA

La demanda de carne en piezas ha ido creciendo de forma continuada en los últimos años. Asociado a esta demanda, se dispone de grandes cantidades de cuellos y rabadillas de aves, que en el pasado se comercializaban como carne para la industria de alimentos para mascotas. Con la introducción de las máquinas deshuesadoras, se ha hecho factible quitarle la carne a esas piezas para su uso posterior en otros procesos y de este modo elevar su precio y hacer la carne de ave mecánicamente recuperada (CAMR) competitiva con otros tipos de carne (Li y Wick, 2001; Mielnik *et al.*, 2002).

EL Reglamento (CE) nº 853/2004 define la Carne separada mecánicamente (CSM) como “el producto obtenido extrayendo la car-

ne de los huesos carnosos después del deshuesado, o de las canales de las aves, por medios mecánicos que ocasionan la pérdida o alteración de la estructura de la fibra muscular". Asimismo, se establecen normas específicas de higiene de los alimentos de origen animal (el conocido como Reglamento H2 del Paquete de Higiene), con lo que se permite el uso de CSM en preparados de carne que claramente no vayan a destinarse al consumo humano sin haberse sometido antes a un tratamiento térmico.

El deshuesado de carne fresca de ave ha sido uno de los avances más importantes en los procesos avícolas. Los caparzones y cuellos de pollos, algunas piezas de pavo, y la totalidad de la gallina son ahora una importante fuente de materias primas para la industria procesadora de alimentos en general y, en especial, para la industria cárnica. A causa del pequeño tamaño de partícula que tiene, este producto es más útil en productos picados de pasta fina como las salchichas tipo Frankfurt y Viena.

Aunque la disponibilidad de este tipo de carne ha abierto nuevos campos de utilización, se deben resolver muchos problemas en su procesamiento y control de calidad. Debido a que las máquinas deshuesadoras manejan grandes volúmenes de materia, más de una tonelada por hora, muchas plantas no necesitan trabajar diariamente. Como resultado, la carne cruda debe permanecer almacenada antes de la operación de deshuesado. Además, de los estudios obvios sobre la calidad y vida útil de la carne deshuesada propiamente dicha, es importante tener previsto cualquier alteración que puede resultar del almacenamiento de esta materia prima.

## **1.2.1. Composición y propiedades físicas de la carne de ave mecánicamente recuperada**

### *1.2.1.1. Composición y valor nutritivo de la CAMR*

La CAMR es un material de gran variabilidad en su composición química debido a sus diferentes procedencias (pollo, gallina ponedora que ya ha agotado su ciclo productivo, etc.) así como de las distintas piezas de las que se obtiene la carne (por ejemplo, cuellos y caparazones). También el método de obtención puede provocar variabilidad, pues el contenido en cenizas, fundamentalmente, se ve modificado por las condiciones de operación (presión de trabajo) de las máquinas deshuesadoras que se emplean para su obtención (Field, 1999).

La CAMR se obtiene a partir de piezas de pavo y pollo después de que las partes (o piezas) grandes o nobles de carne hayan sido retiradas manual o mecánicamente. Los fragmentos de astillas y trozos residuales de hueso, con carne adherida, son entonces pasados por una máquina deshuesadora que separa la carne del hueso. En las operaciones de trituración y separación, una cierta cantidad de médula ósea y polvo de hueso pasa a formar parte de la carne (Field, 1999).

Los estudios efectuados por Ham y Young (1983) determinaron la composición de la CAMR obtenida, a partir de cuellos de pollos de engorde acelerado, caparazones de estos pollos, rabadillas de pavo y pechugas de pollos de engorde, empleando para ello tres tipos de máquinas deshuesadoras. Los rangos de los valores de la composición del producto obtenido, aproximadamente fueron: 62,2-70% de humedad; 13,8-22,9% de grasa; 11,9-16,7% de proteínas; 0,9-1,8% de cenizas.

El contenido en humedad es aproximadamente igual al de la carne de pollo y de pavo, mientras que tiene un valor inferior en proteínas, respecto a estas carnes (20% aprox.). Por otra parte, su contenido en grasa es notablemente superior, debido a la gran cantidad de piel de esta carne, pues la carne de pollo o pavo tiene un contenido en grasa comprendido entre un 1% para la pechuga y un 10% para el pollo con piel.

Los minerales detectados en grandes concentraciones (mg/kg) en la carne mecánicamente recuperada de pavo, al igual que en carne de cerdo, nombrados en orden decreciente fueron: calcio, potasio, sodio, zinc, magnesio, hierro y cobre (Park *et al.*, 1996a; Al-Najdawi y Abdullah, 2002).

La CAMR es una buena fuente de hierro, y tiene mayor contenido de calcio y flúor que la carne de ave obtenida manualmente (Padda, 1983). Recientemente, la Comisión Europea ha elaborado un borrador de Reglamento por el que se establece el contenido máximo de calcio que puede contener la Carne Separada Mecánicamente (CSM) empleada para la elaboración de preparados de carne. Según el documento preliminar de la Comisión, la CSM producida con técnicas que no alteren la estructura de los huesos deberá tener un contenido de calcio que no exceda el 1,5%, expresado sobre materia seca.

#### *1.2.1.2. Proteínas de la carne de ave mecánicamente recuperada*

De los componentes mayoritarios de la carne, son las proteínas las que presentan una mayor importancia, ya que no son únicamente suministros de aminoácidos, sino que además, contribuyen a mejorar

el procesado de los alimentos y algunas generan propiedades sensoriales tan importantes como el color. Existen tres grupos de proteínas, que se pueden clasificar como: sarcoplasmáticas, o proteínas solubles en agua; miofibrilares, o solubles en disoluciones de elevada fuerza iónica; y proteínas del tejido conectivo, también denominadas proteínas insolubles (Rivera *et al.*, 2000b). Las proporciones entre los distintos tipos varían de un tipo de carne a otro. Rivera *et al.* (2000a) determinaron que la CAMR contiene un 6% de proteínas sarcoplasmáticas (frente a un 10% en vísceras de cerdo y un 15% en vísceras de ave) alrededor de un 76% de miofibrilares (porcentaje superior al de otros tipos de carne, lo que la hace una potencial materia prima para la elaboración de geles proteicos) y un 18% de proteínas del tejido conectivo.

#### 1.2.1.2.1. Proteínas sarcoplasmáticas

Las proteínas sarcoplasmáticas, también denominadas cromoproteínas son proteínas conjugadas que contienen el grupo hemo en su estructura (Whitaker, 1972; Bhagavan, 1978; Baduí, 1981) siendo éste el responsable de la coloración, ya que las proteínas en sí mismas, no contribuyen al color de ningún alimento (Pinel, 1982).

Las proteínas sarcoplasmáticas no contribuyen a la formación del gel necesario para la elaboración de productos tipo *surimi* e, incluso, pueden impedir el proceso (Medynski *et al.*, 2000).

La CAMR presenta un alto contenido en hemopigmentos, lo que le aporta un color oscuro. Este hecho explicaría el poco uso que se ha realizado hasta ahora, en la industria cárnica (Fontes *et al.*, 2004).

#### 1.2.1.2.1.1. La mioglobina

Es el pigmento responsable del color rojo de la carne fresca y sirve como depósito o transportador de oxígeno en el músculo vivo. El oxígeno que llega al músculo con la hemoglobina (Hb) se difunde desde los capilares a la fibra muscular, donde es unido a la mioglobina (Mb) para su posterior uso en el metabolismo aerobio.

La Mb es un pigmento intracelular (sarcoplásmico) (Kanner, 1994), de color rojo, soluble en agua, que se encuentra distribuido tanto en invertebrados como en vertebrados, localizándose en estos últimos principalmente en las fibras rojas (Knipe, 1993; Park y Morrissey, 1994). La concentración y distribución de este pigmento depende de varios factores, entre ellos, los más importantes son: la especie, la edad y el tipo de fibra (Severini *et al.*, 1994). En el músculo, la Mb cumple una función primordial de almacenamiento de oxígeno, a la vez que promueve y acelera su difusión en las células para cubrir sus necesidades metabólicas (Whitaker, 1972; Laguna y Piña, 1981; Knipe, 1993).

La molécula de Mb consta de una cadena sencilla de 153 aminoácidos que rodean un anillo hemo como grupo prostético. En el centro del hemo hay un átomo de hierro al que se une el oxígeno de manera reversible. El átomo de hierro presenta seis enlaces de coordinación, cuatro de los cuales están ocupados por el anillo de porfirina (Lehninger, 1994).

El contenido en Mb es alto en la carne de vacuno y bajo en la de pollo. La funcionalidad de la molécula de Mb depende del sexto enlace de coordinación. Las propiedades y el color del complejo dependen de lo que esté unido en este lugar, aunque también del estado de oxidación del hierro y del estado físico de la proteína. En la

Mb (y en la Hb) la forma de la molécula que contiene oxígeno mantiene al hierro en estado reducido. En esto difiere del resto de ferroporfirinas, que oxidan al hierro cuando unen oxígeno. Si el hierro de la Mb está oxidado, la molécula no es capaz de unir oxígeno.

Los múltiples complejos de la Mb se pueden agrupar en dos grandes clases, según la unión que se establezca sea iónica o covalente; en cada uno de los miembros, el hierro puede estar en forma oxidada o reducida. Aquellos ligandos que pueden compartir un par de electrones, forman complejos covalentes, mientras que, los que tienen una menor habilidad de compartir electrones, forman complejos iónicos con el sexto lugar de coordinación del átomo de hierro. Las uniones covalentes tienen más interés porque los pigmentos rojos, tan deseados en la carne fresca y curada son miembros de esta clase.

La Mb establece puentes covalentes entre el hierro en su forma reducida y el oxígeno, el óxido nítrico y el  $\text{CO}_2$  denominados oximioglobina, nitrosomioglobina y carboximioglobina respectivamente. Todos estos complejos son rojos y presentan picos de absorción en 535-545 y 575-585 nm. La Mb también puede formar un pigmento púrpura que puede unir agua, con una difusa banda de absorción con un máximo en 555 nm, denominada deoximioglobina. El complejo férrico, también puede unir agua (pero no oxígeno) y se denomina metamioglobina, con un pico de absorción a 505 nm en el extremo azul del espectro y un segundo pico más débil a 627 nm en la región del rojo, con un resultado neto de color pardo (Swatland, 2002).

El espectro de la oximioglobina es típico de todos los complejos coordinados covalentes de los pigmentos hemo.

En presencia de oxígeno, la Mb se transforma en oximioglobina o en metamioglobina dependiendo de la presión parcial de oxígeno.

Una presión de oxígeno baja favorece la formación de metamioglobina (Xiong *et al.*, 1999; Millar, *et al.*, 2000). Existen, sin embargo, enzimas en el músculo capaces de reducir la metamioglobina a Mb.

#### 1.2.1.2.1.2. La hemoglobina

La Hb es la proteína transportadora de oxígeno localizada en los eritrocitos cuya misión principal es la de transportar oxígeno a todas las células y eliminar el CO<sub>2</sub> que resulta del metabolismo aerobio. Consta de 4 subunidades cada una de ellas rodeando un grupo hemo (Swatland, 2002).

La Hb contiene un grupo hemo ferroporfirínico idéntico al de la Mb y capaz, como ella, de experimentar oxigenación y desoxigenación reversible. Se halla, en realidad, emparentada funcional y estructuralmente con la Mb y su peso molecular es 4 veces superior a la de ésta última, pues contiene 4 cadenas peptídicas y 4 grupos hemo.

El grupo hemo presente en la Mb, la Hb y en otras hemoproteínas, está constituido por una estructura anular orgánica compleja, la protoporfirina, a la que se halla unido un átomo de hierro (Fe) en estado ferroso (II) (Varnam y Sutherland, 1998).

#### 1.2.1.2.2. Proteínas miofibrilares

La mayor proporción de las proteínas musculares, del 65 al 80 %, comprende a las proteínas miofibrilares, que dan al músculo su estructura fibrilar y la actividad muscular característica. Las principales son miosina, actina, y, en menor proporción, la tropomiosina y troponina. Estas proteínas pueden ser extraídas mediante soluciones salinas de concentraciones mayores de 0,3 M (1,7% p/p) (Rivera *et al.*, 2000a).

Cuando las proteínas son desnaturalizadas bajo condiciones controladas, sus propiedades pueden ser utilizadas con propósitos tecnológicos. Un buen ejemplo es la producción de productos a partir de *surimi*, en los cuales se emplea la capacidad de las proteínas miofibrilares para formar geles. Las proteínas forman un gel muy resistente cuando se añade sal y estabilizadores a una preparación de proteínas musculares (carne finamente picada), que posteriormente se somete a un proceso de calentamiento y enfriamiento controlado (Suzuki, 1986).

#### 1.2.1.2.3. Proteínas del tejido conectivo

Este grupo de proteínas está constituido fundamentalmente por colágeno, elastina y reticulina. En la CAMR se encuentran en mayor proporción que en otros tipos de carne de ave, debido al arrastre de parte del tejido conjuntivo que se produce en su obtención (McCormick y Phillips, 1999).

#### 1.2.1.3. Cantidad y tamaño de las partículas de hueso presentes en la CAMR

El uso de procedimientos de deshuesado en la industria avícola ha incrementado el rendimiento de la carne obtenida del caparazón. Junto con este avance tecnológico, ha habido una preocupación en la eficiencia de la separación del hueso del producto picado resultante. Ya en el Código de Reglamentación Federal de EEUU en 1971 se fija que el contenido en hueso de CAMR no debe exceder del 1%.

Básicamente se han empleado dos métodos para controlar el contenido de partículas de hueso en este tipo de productos cárnicos. El primer método, implica una separación física del tejido y las partí-

culas finas de hueso para posteriormente calcular el porcentaje de residuo de hueso presente por pesada (Hills y Hites, 1968). El segundo consistía en una determinación química del calcio presente, a partir del cual se calcula un porcentaje de huesos sólidos (PHS). Esta segunda aproximación es más precisa que los métodos físicos.

Según Grunden y MacNeil, 1973, la carne deshuesada de rabadillas de pavo contiene la menor cantidad de hueso. Las otras muestras, ordenadas de menor a mayor contenido en huesos, son: hembras de pavo, cuellos y rabadillas de pollo y caparazones de gallinas ponedoras. Existen diferencias significativas entre los valores de pH de todos los tipos de CAMR, excepto entre la carne de cuellos y la carne de rabadillas de pollo. Sólo la carne deshuesada de caparazones de gallinas ponedoras tenía mayor contenido que el legalmente permitido. Esto podría indicar, que serían necesarios ajustes en el equipo de deshuesado para los caparazones de gallinas ponedoras, con el fin de obtener valores de contenido en huesos dentro del límite requerido del 1%. Es interesante señalar que la carne deshuesada de aves de más edad y de caparazones de gallinas ponedoras, tienen mayores valores de partículas de hueso que sus equivalentes más jóvenes. Esto refleja el alto grado de calcificación de los huesos, que causa más fragmentación cuando pasa a través del deshuesador, lo que supone un aumento del nivel de partículas de hueso.

El nivel de hueso remanente en la CAMR se determina fácilmente considerando que la carne magra, libre de hueso, tiene aproximadamente un 0,01% de calcio, mientras que el hueso contiene un 20-25% (Field, 1999).

Junto con las partículas de hueso también se incorpora a la CAMR médula ósea, que resulta más difícil de detectar que el hueso debido a que su composición es similar a la del músculo. Los métodos

empleados para su cuantificación se basan en el contenido de dicho tipo de carne en hemopigmentos y otros métodos inmunológicos (Field, 1999). La ruptura de las estructuras óseas, además, puede provocar que la hemoglobina presente en los eritrocitos sea liberada, pasando a formar parte de la CAMR (Gill, 1996).

#### 1.2.1.4. Cantidad de piel presente en la CAMR

A los productos obtenidos a partir de CAMR se les permite tener hasta un 20% de piel, lo que se considera una proporción natural. Además, hay que tener en cuenta que:

- 1) Conforme aumenta el contenido en piel de las rabadillas de pollo, el contenido en grasa de sus productos también aumenta.
- 2) Cuando el contenido en piel aumenta, el contenido en colágeno permanece constante o disminuye muy ligeramente.
- 3) Cuando toda la piel pasa a través de la máquina deshuesadora, el producto obtenido tiene un mayor contenido en grasa y un menor contenido en colágeno, en comparación con la piel que entra sin procesar o con el residuo de la operación.

En conclusión, el uso de partes con alto contenido en piel contribuye a la obtención de un producto mecánicamente deshuesado con un elevado contenido en grasas y bajo contenido en humedad y proteínas. El contenido en colágeno apenas se ve afectado (Bonifer *et al.*, 1996).

1.2.1.5. *Propiedades físicas de la carne de ave mecánicamente recuperada. La textura.*

La consistencia de pasta fina y el bajo precio de la CAMR la convierten en una materia prima ideal para la elaboración de productos cárnicos, triturados o picados. Empleando en la elaboración de productos cárnicos CAMR como ingrediente junto con otros tipos de carne, se consigue mejorar las propiedades físico-químicas de dichos productos (Rivera *et al.*, 2000b; Li y Wick, 2001; Mielnik *et al.*, 2002).

Los principales factores que afectan a la calidad de los alimentos son: la apariencia, el sabor y olor, la composición nutricional y la textura, entendida como la respuesta del tacto al estímulo físico resultante del contacto con el alimento. La importancia de la textura en la aceptabilidad de los alimentos varía ampliamente. Se podría clasificar a los alimentos en función de la importancia que sobre su calidad final tiene la textura, en tres grandes grupos:

- Grupo I: alimentos con importancia crítica de la textura.
- Grupo II: alimentos en los que la textura es importante.
- Grupo III: alimentos en los que la textura es poco relevante

Sería dentro del primer grupo donde estaría incluida la carne, así como la mayoría de los productos cárnicos (Bourne, 2002).

La comprensión de la textura de la carne y los productos cárnicos es complicada debido a la naturaleza compleja de la estructura del músculo y los muchos factores, *ante y post mortem*, que le pueden afectar (Greaser y Pearson, 2001).

En cuanto a los productos cárnicos elaborados con CAMR, en su mayoría productos cocidos tipo salchicha, el estudio de la textura es crucial, puesto que de ella depende la aceptación o no del producto por parte del consumidor (Ordóñez, 1996; Mielnik *et al.*, 2002).

### **1.2.2. Calidad de la carne de ave mecánicamente recuperada**

Los dos atributos más importantes para la calidad de la carne de ave son la apariencia y la textura (Fletcher, 2002). La CAMR presenta inconvenientes en cuanto a color y "flavor" y escasa textura. Se han hecho intentos para mejorar la vida útil y la calidad microbiana de la CAMR mediante ajustes de pH, mezclando sales, pasteurización, adición de antioxidantes y polifosfatos, centrifugación, combinándola con carne de ave recuperada manualmente y con proteínas vegetales texturizadas, y dándole forma mediante extrusión y texturización (Pizzocaro *et al.*, 1998; Mielnik *et al.*, 2002). El último proceso nombrado parece ser el más conveniente para hacer este producto más versátil (Sushil-Kumar y Wismer-Pedersen, 1983).

### **1.2.3. Utilización de la carne de ave mecánicamente recuperada**

Aproximadamente el 24% de toda la carne de pollo permanece adherida a los caparazones y al cuello después del deshuesado (sobre un 12% en pavos), lo cual indica una medida de la necesidad de aprovechar tal cantidad de materia prima rica en proteínas (Sadat y Volle, 2000). Esta cantidad de CAMR, contribuye significativamente a la economía de la industria avícola. La CAMR es realmente útil para la elaboración de una gran variedad de productos emulsificados y no emulsificados (Barbut *et al.*, 1989; Mielnik *et al.*, 2002).

La CAMR puede ser usada en la elaboración de salchichas, mortadela y salami, también en mezclas deshidratadas para sopas y como dados de pollo o pavo (Padda, 1983). La adición de CAMR mejora algunas de las propiedades físico-químicas, como el color interno y la consistencia y presenta un pequeño efecto sobre el sabor de diversos productos cárnicos (Li y Wick, 2001).

Además, se han elaborado productos tipo *surimi* a partir de carne mecánicamente recuperada de cordero, cerdo y ternera (McCormick *et al.*, 1993; Wimmer *et al.*, 1993; Park *et al.*, 1996a; Srinivasan y Xiong, 1996; Parkington *et al.*, 2000; Ensoy *et al.*, 2004).

### 1.3. TECNOLOGÍA DE LOS PRODUCTOS GELIFICADOS

#### 1.3.1. Introducción

El amplio crecimiento de productos a base de *surimi* en los EE.UU. y Europa ha generado la creencia de que todo el mundo en la industria de alimentos sabe qué es el *surimi*.

Lee (1984) describe el *surimi* como "...pescado mecánicamente recuperado, con agua y mezclado con crioprotectores para aumentar su vida útil durante la congelación", mientras Johnston (1989) lo define como "...trozos refinados y lavados procedentes de pescado, que es relativamente estable y que puede ser almacenado congelado y refrigerado y que todavía mantiene las propiedades funcionales necesarias para hacer *kamaboko*". El *kamaboko* es un producto típico de Japón que se hace a partir de pescado y que se presenta bajo la forma de un gel proteico homogéneo (Navarro y Vilella, 2002).

Martin (1986) al describir la nomenclatura de productos derivados de pescados procedentes del mar aportaba las siguientes definiciones: "...un producto intermedio en el procesado de pescado, usado en la formulación/fabricación de una gran variedad de productos finales..."; "...carne de pescado troceado (generalmente abadejo) que ha sido lavado para eliminar la grasa y sustancias indeseables (como sangre, pigmentos y sustancias olorosas), y mezclado con crioprotectores (azúcar, sorbitol...)".

De todas estas definiciones, el primer elemento a destacar es que el *surimi* es un producto intermedio, que más tarde se emplea para hacer otros productos, como podría ser el tradicional *kamaboko* japonés o nuevos productos elaborados (Hall y Ahmad, 1992).

### **1.3.2. Propiedades de la actina y la miosina**

Debido a que estas proteínas son los componentes mayoritarios del *surimi* y del pescado procesado, sus propiedades durante las condiciones de procesado son de suma importancia. Dos condiciones particulares merecen ser destacadas: almacenamiento en congelación y tratamiento térmicos.

#### *1.3.2.1. Almacenamiento en congelación de producto tipo surimi*

El comportamiento de la actina y miosina es de gran relevancia puesto que, tanto el *surimi* como el pescado troceado, se almacenan de esta manera, a la espera de su procesado final (Ensoy *et al.*, 2004; Leelapongwattana *et al.*, 2005). El principal problema es la desnaturación de la actina y la miosina, lo que reduce su capacidad de retención de agua. En los productos finales, se detectan los efectos de

la desnaturalización en forma de un producto seco, con pérdida de sabor y de textura pobre.

El mecanismo de la desnaturalización por congelación se ha estudiado desde hace mucho tiempo y se han realizado varias publicaciones (Suzuky, 1986; Baddi y Howell, 2002; Gómez-Pastrana, 2002). En general, la desnaturalización es una consecuencia de la agregación de las proteínas miofibrilares por la formación de enlaces de hidrógeno, iónicos, hidrofóbicos y, posiblemente, enlaces disulfuro (Herrera y Mackie, 2004). El papel del agua en estos cambios es fundamental, ya que tanto la cantidad como el estado del agua no congelada permiten predecir la estabilidad de estos productos. Cuando el agua se congela, se concentran los solutos; esto cambia la fuerza iónica y el pH alrededor de las proteínas, lo que permite que se formen nuevos enlaces y, por ende, que se puedan llevar a cabo determinadas reacciones bioquímicas o enzimáticas (Lucas *et al.*, 2004).

Otras reacciones tienen lugar en este entorno deshidratado, como la oxidación de lípidos, que originan compuestos (por ejemplo, malonaldehído) que reaccionan con proteínas, formando enlaces y favoreciendo la desnaturalización.

Una forma de superar estos problemas, es llevar a cabo el proceso de congelación rápidamente, almacenando a baja temperatura y evitando los cambios cíclicos de temperatura (congelación-descongelación) hasta el momento de la descongelación.

Otro método utilizado para prevenir la desnaturalización es usar crioprotectores con el fin de proteger las proteínas durante el almacenamiento en congelación. Los más comúnmente usados son la sacarosa, el sorbitol y los polifosfatos (Suzuky, 1986). Su acción puede

deberse a una combinación entre la capacidad de retención de agua para prevenir la migración de la misma y un aumento de la tensión superficial (Park *et al.*, 1996b; Tomaniak *et al.*, 1998).

El problema es el sabor dulce del *surimi* que contiene algunos de estos crioprotectores, ya que es inaceptable para algunos consumidores por lo que recientemente, se han realizado estudios para descubrir nuevos crioprotectores que reduzcan la dulzura y puedan servir de protección en procesos posteriores como la extrusión. Yoon y Lee (1990) usaron polioles, sorbitol cristalizado y almidón modificado. Sych *et al.* (1990) incluyeron caseína, hidrolizados de pescado e hidrocoloides, solos o con sacarosa, pero estos compuestos no eran tan efectivos como los azúcares, solos o con sorbitol. Estos estudios mostraron que una gran variedad de crioprotectores menos dulces son merecedores de ser investigados, especialmente con el advenimiento de una nueva generación de productos a base de *surimi*.

#### 1.3.2.2. Efecto del calor sobre la actina y la miosina

La desnaturalización de las proteínas por el calor es un fenómeno común observado en muchos tipos de proteínas. Durante el procesado del *surimi* se debe evitar una temperatura elevada, puesto que provoca pérdida de la capacidad de formación del gel.

#### 1.3.2.3. La acción de la sal

La presencia de sal es esencial para la conversión de *surimi* en sus productos finales y en la eliminación de proteínas sarcoplasmáticas, debido a que estas proteínas son solubles en soluciones salinas neutras de baja fuerza iónica (0,15 M), por lo que se eliminan fácilmente por lavado con agua (Rivera *et al.*, 2000a).

## 1.4. EL COLOR EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS

### 1.4.1. Importancia del color

El color es el primer contacto que se tiene con los alimentos, generalmente se asocia al alimento, así como, a los tratamientos tecnológicos o procesos degradativos que sufren los mismos (Rodríguez *et al.*, 1992). Esta propiedad permite valorar la calidad de muchos alimentos, y en su medición se basan numerosos métodos oficiales de control de calidad (Baduí, 1981; Chefftel *et al.*, 1983; López-Andreu *et al.*, 1994).

El color de los alimentos es la principal característica que el consumidor tiene de base en su compra. De esto, se desprende la importancia de la apariencia física de un producto en la industria alimentaria. Considerando las características específicas que contribuyen al aspecto físico, los investigadores están de acuerdo en señalar que el color de los alimentos es uno de los parámetros de calidad que más influye en la selección del consumidor (Fletcher, 2002).

El interés por el color en la tecnología de alimentos no sólo se circunscribe a la investigación básica sino que, a nivel industrial, existen ya en la actualidad varios procesos en los cuales se ha implantado el uso del color en la producción, como es el caso de algunos métodos de clasificación de materias primas (Troplin *et al.*, 1995). También se le ha encontrado utilización en la evaluación de procesos (Park y Morrissey, 1994), pero donde se prevé tenga el mayor éxito es en el control de calidad, ya que, la característica más importante por la cual se juzga la calidad de un alimento es su apariencia y el atributo más importante de la apariencia es el color, "comemos por los ojos".

El color es una sensación subjetiva, resultado de una compleja serie de respuestas fisiológicas y psicológicas a la radiación electromagnética de longitudes de onda comprendidas en el intervalo de 400-700 nm (Pérez-Álvarez, 1996).

La distribución de los colores entre estas longitudes de onda se denomina espectro visible. En la tabla 2 se aprecian los colores y sus complementarios según las distintas longitudes de onda. El ojo humano es capaz de ver solamente esta pequeña franja del espectro electromagnético. Estas longitudes de onda son las que estimulan la retina del ojo para que se transmita la información al cerebro y es aquí donde el concepto de color se obtiene por primera vez como la respuesta de este órgano a la información recibida del ojo.

**Tabla 2.** Longitudes de onda del espectro visible, los colores y sus complementarios

| LONGITUD DE ONDA | COLOR      | COLOR COMPLEMENTARIO |
|------------------|------------|----------------------|
| 400-424          | Violeta    | Verde amarillento    |
| 424-491          | Azul       | Amarillo             |
| 491-570          | Verde      | Rojo                 |
| 570-585          | Amarillo   | Azul                 |
| 585-647          | Anaranjado | Azul verdoso         |
| 647-700          | Rojo       | Verde                |

La percepción del color se produce como consecuencia de una serie de procesos físicos y químicos, que son:

- Emisión de la luz producida cuando los electrones excitados vuelven a orbitales de menor energía.

- Difracción de la luz causada por un prisma u otro dispositivo semejante.
- Interferencia de la luz, cuando ésta se refleja en las dos superficies de una película muy fina. La luz reflejada por la superficie más alejada se combina en desfase con la reflejada por la superficie más próxima, dando lugar a una interferencia destructiva y a la cancelación de algunas longitudes de onda; a causa de ello, se ve un solo color neto en lugar de blanco.
- Absorción de luz de ciertas longitudes de onda. Los compuestos, con conjugación extensa, absorben en ciertas longitudes de onda de luz visible, a causa de transiciones en determinados orbitales. No se observa el color absorbido sino su complemento, que es reflejado. El color complementario, llamado a veces color sustractivo, es pues, el resultado de la sustracción de algunas longitudes de onda específicas del espectro visible global. Este fenómeno es el más común de todos.

Dependiendo de cómo actúe la luz al incidir sobre los alimentos, éstos pueden ser clasificados como opacos, translúcidos o transparentes. El color es un parámetro que se va a ver afectado por factores como la iluminación, el tamaño, la textura, el brillo y los colores que hay alrededor del producto (Pérez-Álvarez, y Fernández-López, 2001).

#### **1.4.2. Evaluación del color**

El color de un objeto se compone del color percibido (percep-

ción visual) y del color psicofísico (radiación visible). Por lo general, la evaluación del color, por percepción visual, se lleva a cabo por un panel entrenado; esta práctica conlleva a una serie de errores subjetivos en la interpretación de los resultados, debido a la falta de regularidad de la percepción visual y a la dificultad de valorar exactamente las diferencias de tono y de croma. Por esta razón, se trata de sustituir la evaluación subjetiva por métodos instrumentales objetivos. Éstos son precisos, exactos y rápidos, permitiendo interpretar mejor las diferencias de color (Pérez-Álvarez, 1996).

Las mediciones del color a través de la espectrofotometría de reflectancia es uno de los métodos más utilizados debido a su estrecha correlación con la percepción visual del ojo humano. A diferencia de la espectrofotometría de absorción, la reflectancia se mide sobre la superficie del objeto, no siendo necesaria su destrucción y permite evaluar los cambios de color a lo largo del tiempo sobre una misma muestra (Hunt *et al.*, 1991).

La estructura física del objeto, tanto como la naturaleza química de sus componentes afectan a la reflectancia (Swatland, 1995). La luz reflejada que proviene del objeto es un estímulo visual y es la que se emplea para efectuar la medición objetiva del color.

Existen diversos métodos de evaluación del color llamados generalmente espacios o sistemas de color. Entre los más usados cabe destacar:

- Sistema HunterLab
- Sistema CIEL\*a\*b\*

#### 1.4.2.1. Sistema HunterLab

El sistema HunterLab parte de los trabajos realizados por R. S. Hunter en la compañía Henry A. Gardner en 1948 donde mejoró el colorímetro de esta empresa. El resultado de este colorímetro es un sólido denominado HunterLab, el cual, tiene una superficie uniforme de color. Este sistema se define por tres coordenadas rectangulares: L (luminosidad), a (rojo+, verde-) y b (amarillo+, azul-).

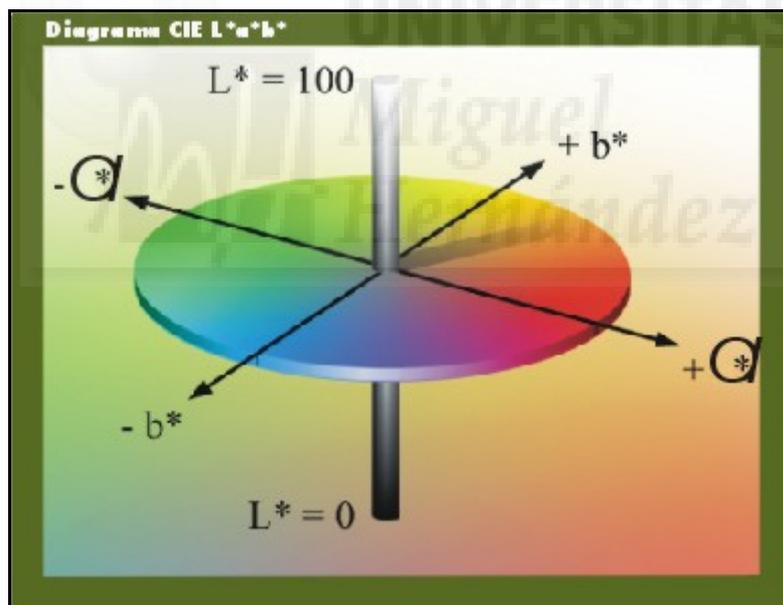
El eje de la luminosidad, en el centro del sólido, está calibrado de 0 a 100, donde 100 es el blanco absoluto. Los valores acromáticos están en la intersección de los ejes a y b. Los tonos están distribuidos en los cuatro cuadrantes del plano ab y la pureza del croma es tanto mayor, cuanto más alejado está el punto del origen de coordenadas.

Aunque los valores HunterLab únicamente localizan un punto en el sólido de color, el valor de  $L^*$  ha sido muy útil en la determinación de la extensión de la luminosidad del producto (un aumento de  $L^*$  incrementa la luminosidad del mismo, la disminución de  $L^*$  lo oscurece), y el valor de  $a^*$  ha sido muy útil para determinar el cambio en los tonos rosas a rojos (Hunt *et al.*, 1991).

#### 1.4.2.2. Sistema CIE $L^*a^*b^*$

El espacio físico de colores, definido en 1931 por la CIE, se basa en la teoría de la percepción tricromática. Se sabe que para el ojo es posible reconstituir todos los estímulos cromáticos coloreados fundamentales (valores negativos), mezclando cantidades apropiadas de los tres estímulos primarios: rojo (x), verde (Y) y azul (Z) (Hunt *et al.*, 1991). A partir de ellos se calculan matemáticamente las coordenadas de color  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (rojo/verde) y  $b^*$  (amarillo/azul) para el espacio de color CIE  $L^*a^*b^*$  (Mc Laren, 1984; Warris, 1995).

El espacio de color CIE  $L^*a^*b^*$  es un sistema tridimensional esférico (figura 5) definido por tres coordenadas colorimétricas (Warris, 1995). La coordenada ( $L^*$ ), que recibe el nombre de la luminosidad o claridad, y las coordenadas colorimétricas ( $a^*$  y  $b^*$ ) forman un plano perpendicular a la claridad ( $L^*$ ). La coordenada  $a^*$  define la desviación del punto acromático correspondiente a la coordenada  $L^*$  hacia el rojo si es positiva ( $a^{*+}$ ) y hacia el verde si es negativa ( $a^{*-}$ ). Análogamente, la coordenada  $b^*$  define la desviación hacia el amarillo si es positiva ( $b^{*+}$ ) y hacia el azul si es negativa ( $b^{*-}$ ) (UNE 72-032, 1984). Por otro lado, cuando las diferencias de la luminosidad  $L^*$  son positivas ( $L^{*+}$ ) el color se vuelve más claro, pero cuando estas diferencias son negativas ( $L^{*-}$ ) el color se va volviendo más oscuro (Schmidhofer, 1994).



**Figura 5.** Diagrama CIE  $L^*a^*b^*$

El conjunto ( $a^*$ ,  $b^*$ ) recibe el nombre de cromacidad, y junto con la claridad definen el color de un estímulo. Ambos atributos no son suficientes para definir el sólido de color CIE  $L^*a^*b^*$  ya que faltarían por definir las magnitudes colorimétricas o psicofísicas tono (1) y croma (2).

Estas magnitudes se expresan como:

$$H^* = \arctg (b^*/a^*) \quad (1)$$

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (2)$$

El tono ( $H^*$ ) representa la sensación visual por la que se diferencian los colores.

El croma ( $C^*$ ) es la propiedad por la cual, un color se distingue por su intensidad y, además, esta magnitud psicofísica está muy asociada a la percepción humana (Setser, 1984).

El espacio de color CIEL\*a\*b\* es un sistema cartesiano, lo cual tiene como ventaja, un cálculo de coordenadas simple y rápido, en comparación con otros métodos, aunque presenta el inconveniente de que las distancias entre los diferentes puntos del espacio no se corresponden con las diferencias de percepción de los colores (Schmidhofer, 1994). Otra ventaja de utilizar este espacio de color estriba en su similitud con la uniformidad visual humana, donde las distancias equitativas en el sistema representan aproximadamente las distancias equitativas visuales (Warris, 1995).

La Comisión Internacional de la Iluminación (Comisión Internacional de l' Eclairage-CIE) recomendó, en 1976, la fórmula de diferencia de color CIEL\*a\*b\* (UNE, 1983). Este método normalizado determina la diferencia de color existente entre dos sólidos opacos, no fluorescentes y uniformemente coloreados, a partir de las magnitudes colorimétricas (magnitudes adimensionales).

Este sólido de color, a partir del año 1986, ha sido utilizado am-

pliamente en la determinación objetiva del color, siendo específicamente empleado a partir de 1995 como método de referencia en la evaluación objetiva del color de la carne (Cassens *et al.*, 1995).

### 1.4.3. El color en la carne

Considerando las características específicas que contribuyen al aspecto físico, los investigadores están de acuerdo en señalar que el color de los alimentos es uno de los parámetros de calidad que más influye en la selección del consumidor (Kropf, 2003). El color es una de las características más importantes de la carne, ya que es el principal atributo que juzga el consumidor antes de comprar, tanto en carnes frescas como en curadas. Los consumidores relacionan el color de la carne con su frescura.

El color de la carne fresca es un concepto muy complejo que comprende a los pigmentos musculares, la estructura de las proteínas musculares, el contenido de grasa y las propiedades físicas de la carne (absorción y dispersión de la luz) (Swatland, 1995). Sin embargo, se considera que el color de la carne fresca depende en gran medida de las concentraciones de oximioglobina (OMb), mioglobina (Mb) y metamioglobina (MMb) (Johansson *et al.*, 1991).

Desde el punto de vista químico el color de la carne es el resultado de la relación de los distintos estados de la Mb (estados de oxidación del hierro del grupo hemo y tipo de sustituyente que ocupa la posición sexta de dicho grupo) (Judge *et al.*, 1989).

Los principales estados de la Mb, así como, denominación del pigmento formado, estado de oxidación del hierro, mecanismos de formación y color originado se pueden observar en la tabla 3.

El color de la carne implica tanto el color de la grasa como el color de la carne magra. La variación del color de la grasa se debe principalmente a los carotenos del forraje, que se depositan en la grasa.

**Tabla 3.** Principales estados de la mioglobina, denominación del pigmento formado, estado de oxidación del hierro, mecanismos de formación y color originado

| PIGMENTO                 | LIGANDO EN POSICIÓN 6 | ESTADO DE OXIDACIÓN | MECANISMO DE FORMACIÓN | COLOR          |
|--------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|----------------|
| Mioglobina (Mb)          | Vacía                 | Ferroso             | No reducida            | Rojo púrpura   |
| Oximioglobina (OMb)      | Oxígeno               | Ferroso             | Oxigenación            | Rojo brillante |
| Metamioglobina (MMb)     | Agua                  | Férrico             | Oxidación              | Pardo          |
| Nitrosomioglobina (NOMB) | Óxido nítrico         | Ferroso             | Nitrosación            | Rojo           |
| Carboximioglobina (COMb) | Monóxido de carbono   | Ferroso             | Carboxización          | Rojo cereza    |

#### 1.4.3.1. El color en la CAMR

Las diferencias de color entre la CAMR y el color de muslos y pechugas y otras piezas de carne de ave son debidas, entre otros factores, al mayor porcentaje en grasa de esta carne frente a otras parte de las aves (Pérez-Dubé *et al.*, 2000), así como al alto contenido en médula ósea que posee la CAMR (Field, 1999). También hay que tener en cuenta que los niveles de hemopigmentos en la CAMR son elevados (Froning, 1995).

### **1.5. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO**

Actualmente la CAMR está infrautilizada, pues aunque posee muy buenas propiedades funcionales y nutritivas, su alto contenido en hemopigmentos y grasa le confiere unas características de color, sabor, aroma y textura que dificultan su aplicación en la elaboración de muchos productos cárnicos.

Su alta concentración en proteínas miofibrilares la hacen una materia prima idónea para la elaboración de productos gelificados.

Se hace necesario, por tanto, desarrollar y optimizar una metodología apropiada para ofrecer al mercado un producto con unas características deseadas (bajo contenido en grasa y hemopigmentos) que posea largos períodos de conservación y que mantenga sus propiedades de gelificación.



## **CAPÍTULO II**

### **OBJETIVOS**



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar y optimizar la metodología apropiada para obtener un producto gelificado a base de CAMR.

### **2.2. OBJETIVOS PARTICULARES**

1.- Caracterizar química, física y físico-químicamente la CAMR, para su posible utilización como materia prima en la obtención de alimentos de alto valor biológico.

2.- Comparar, a efectos del color, la CAMR con otras partes anatómicas del ave.

3.- Desarrollar y optimizar un método de lavado para la recuperación de las proteínas miofibrilares y la eliminación de los componentes indeseables (hemopigmentos y grasa) de la CAMR.

4.- Evaluar la posible utilidad de las coordenadas de color como herramientas para determinar tanto el tiempo como el número de lavados adecuados.

5.- Conocer el efecto que sobre el color de la CAMR presentan los distintos aditivos y concentraciones adicionado durante su lavado.

6.- Evaluar la acción sobre las propiedades funcionales de las proteínas, de crioprotectores añadidos a la CAMR durante la etapa de congelación.

7.- Caracterizar, química, física y físico-químicamente el producto gelificado obtenido a base de CAMR.





## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**



### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. DISEÑO DE LAS EXPERIENCIAS**

Teniendo en cuenta que con el presente trabajo se pretende obtener un producto gelificado, y debido a la gran cantidad de factores que pueden influir en el proceso de obtención de este producto cárnico (variabilidad de la materia prima, condiciones de lavado, aditivos de lavado, crioprotectores, condiciones del proceso de gelificación, etc.) se realizó un diseño experimental que permitiera controlar todos los factores implicados en la obtención del producto.

En primer término, se caracterizó la carne de ave mecánicamente recuperada, materia prima para la elaboración del producto gelificado.

Posteriormente se realizó un estudio preliminar para fijar las condiciones de lavado, ya que interesaba obtener un producto con unas determinadas características. Se seleccionaron los siguientes factores: tiempo, número y aditivos de lavado, cuyo estudio se realizó de forma individual debido a la importancia de cada uno de ellos, puesto que su variación da lugar a productos de características dispares.

A continuación, se efectuó el proceso completo de obtención del producto gelificado que incluía la etapa de lavado, el proceso de congelación con crioprotectores y la etapa de gelificación. En la etapa de lavado se utilizaron las condiciones óptimas de lavado obtenidas en el estudio preliminar.

La etapa de congelación, previa a la gelificación del producto, permite una mejor conservación de las características del mismo y con ello aumentar su vida útil. Durante esta etapa la mayor problemática está relacionada con el mantenimiento de las características tecnológicas de las proteínas, de aquí el uso de crioprotectores que impiden la desnaturalización de las mismas.

De todos los crioprotectores utilizados en este tipo de productos, se seleccionaron dos: sorbitol al 3% y tripolifosfato sódico al 0,2%, ya que los autores consultados recomiendan el uso de los mismos (Nowsad *et al.*, 2000a) por dar lugar a la obtención de un producto gelificado final de las mejores características.

Tras el estudio de la congelación del producto, se procedió a su descongelación y a la incorporación de cloruro sódico al 3% para su posterior embutido.

El producto embutido fue sometido a la fase de gelificación, en las condiciones recomendadas en bibliografía (Nowsad *et al.*, 2000a) para productos similares.

Por último, se procedió a la caracterización del producto gelificado obtenido.

### **3.1.1. Caracterización de la materia prima**

En este estudio se utilizó CAMR procedente de una planta de recuperación industrial de carne, a partir de caparazones de ave procedentes de un matadero homologado de la Comunidad Valenciana. La máquina deshuesadora empleada fue una Beehive RSTC (Beehive machinery Inc. Sandy VT 84091-5002 USA) ajustada para obtener un rendimiento de un  $40 \pm 5\%$ .

Para la caracterización de la CAMR se procedió a la determinación, en primer lugar, de los parámetros de color, siguiendo el método que se detalla en el apartado 3.2.1.1., del pH, expuesto en el apartado 3.2.1.2. y, posteriormente, de su composición química (contenido en humedad, grasa, cenizas y proteínas), con la metodología explicada en el apartado 3. 2. 2.

Para poder interpretar los cambios que puedan ocurrir durante el resto de etapas estudiadas, se procedió a determinar el comportamiento de los estados de los hemopigmentos en la CAMR, así como su comparación con carne deshuesada manualmente (muslo y pechuga).

### **3.1.2. Determinación de las condiciones óptimas de lavado**

#### *3.1.2.1. Tiempo de lavado y número de lavados*

La materia prima se sometió a una serie de 6 lavados consecutivos de 90 minutos de duración cada uno, en una proporción del 5% de CAMR y de un 95% de agua destilada, mantenida a temperatura de  $4 \pm 1^\circ\text{C}$ . Cada 10 minutos se tomaron muestras del agua de lavado, para determinar su contenido en proteínas (apartado 4.2.1.2).

En la carne obtenida tras el primer lavado se determinaron pH (apartado 4.2.1.3) y color (apartado 4.2.1.4). La carne fue introducida nuevamente en un baño de agua para efectuar el siguiente lavado. Se repitió esta operación hasta completar una serie de 6 lavados efectuados a la misma muestra de CAMR. El método fue el mismo para los 6 lavados, así como los análisis efectuados tras ellos.

### 3.1.2.2. Aditivos de lavado

Se incorporaron al agua de lavado los siguientes aditivos: cloruro sódico, tripolifosfato sódico, lactato sódico, ácido láctico y bicarbonato sódico, en las proporciones que se indican en la tabla 4. La secuencia de lavados se repitió hasta completar una serie de 6 lavados, de 10 minutos de duración cada uno, para cada uno de los aditivos y concentraciones ensayadas (Tabla 4). Tras cada lavado de 10 minutos, se efectuaron las determinaciones de color y pH sobre la carne lavada. Al final de la serie completa, se determinó el contenido en humedad, grasa, cenizas y proteínas de la CAMR. El ciclo de 6 lavados se realizó por triplicado, para evitar que los datos obtenidos en el primer ciclo de lavados fuesen fruto del azar.

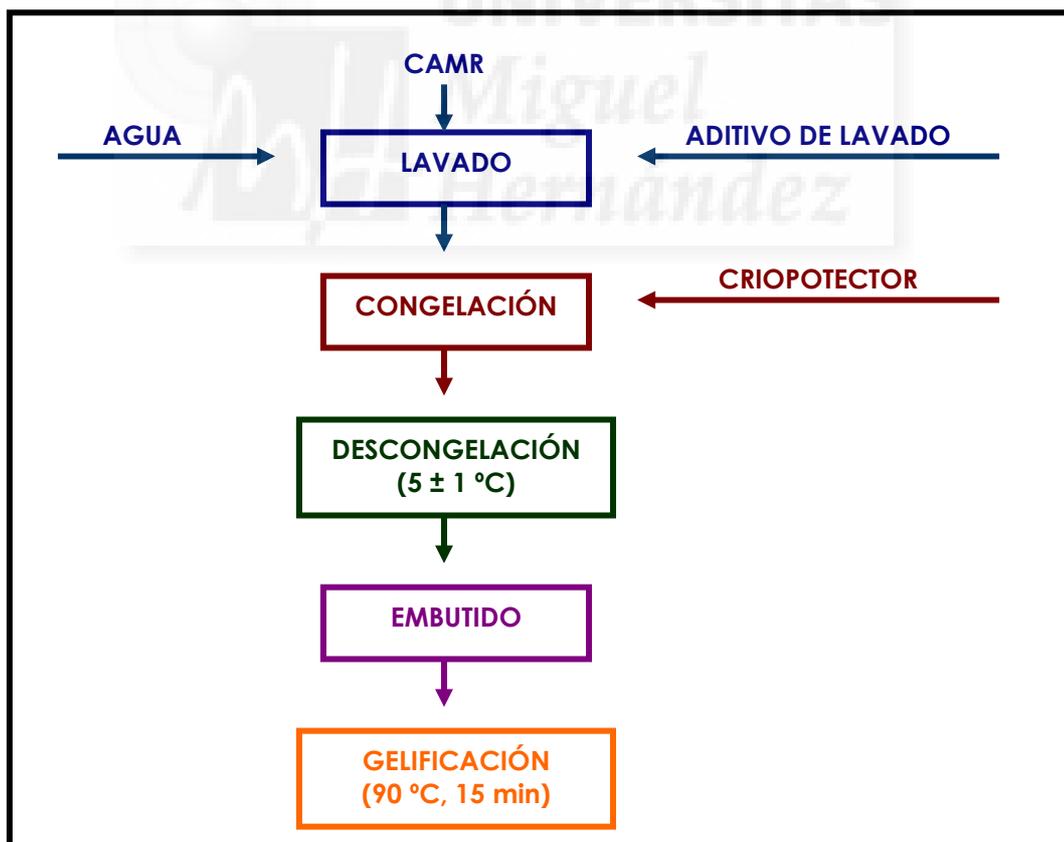
De los resultados obtenidos en este estudio, se determinó la concentración óptima de cada aditivo de lavado empleado y el número de lavados, de forma que los procesos siguientes sólo se llevaron a cabo para dichas concentraciones óptimas. El criterio general para seleccionar tanto los aditivos, como su concentración en el agua de lavado, fue que minimizase la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), puesto que lo que se pretende con este proceso es reducir el contenido en hemopigmentos de la CAMR. Esta reducción mejoraría el aspecto de los productos gelificados, asimilándose a un producto tipo *surimi* (Nowasad *et al.*, 2000a).

**Tabla 4.** Concentraciones (%) de los aditivos empleados en la etapa de lavado de la CAMR

| ADITIVO DE LAVADO     | CONCENTRACIONES (%)  |
|-----------------------|----------------------|
| CLORURO SÓDICO        | 0,5, 1,0 y 1,5       |
| TRIPOLIFOSFATO SÓDICO | 0,005, 0,010 y 0,015 |
| LACTATO SÓDICO        | 0,5, 0,75 y 1,0      |
| ÁCIDO LÁCTICO         | 0,25, 0,50 y 0,75    |
| BICARBONATO SÓDICO    | 0,25, 0,50 y 0,75    |

### 3.1.3. Caracterización del proceso de obtención de geles cárnicos a partir de CAMR

En la figura 6 se representa el diagrama de flujo del proceso de elaboración del producto gelificado, tipo *surimi*, a partir de CAMR.



**Figura 6.** Diagrama de flujo del proceso de elaboración del producto gelificado tipo *surimi* a partir de CAMR

### *3.1.3.1. Estudio de la etapa de lavado*

Tras determinar en la experiencia previa las condiciones óptimas de lavado, se seleccionaron tres de los aditivos empleados a las concentraciones que minimizaban la coordenada rojo-verde: bicarbonato sódico (0,25%), ácido láctico (0,75%) y cloruro sódico (1%). Igualmente se fijó en tres el número de lavados consecutivos, tomando como criterio la extracción de proteínas de la CAMR en el agua de lavado.

### *3.1.3.2. Estudio de la etapa de congelación*

Se estudió el efecto de adición de crioprotectores (sorbitol al 3% y tripolifosfato sódico al 0,2%), y se envasaron a vacío (modelo Egar Vac Basic) las muestras de carne para mantenerlas congeladas a -18° C durante un periodo de quince días. Paralelamente se congeló una muestra testigo sin adición de crioprotectores. En total esto supone seis tratamientos, más la muestra control, correspondientes a las combinaciones de los tres aditivos de lavado con los dos crioprotectores.

### *3.1.3.3. Estudio de la etapa de gelificación*

A continuación, las muestras se descongelaron a temperatura de refrigeración ( $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) y, posteriormente, se les añadió un 3% de cloruro sódico. Se homogeneizó la mezcla durante 3 minutos hasta conseguir una buena distribución de la sal en la masa, para después pasar a su embutido (modelo Tre Spade), en tripa de colágeno de 3 cm de diámetro Fibran NF (Fibran, Gerona, España), formando piezas individuales de 20 cm de longitud.

Las piezas se introdujeron en un baño termostataado a 90° C (6032011, J.P. Selecta, Abrera, Barcelona) con un termostato de inmersión de la misma marca (3000389, J.P. Selecta, Abrera; Barcelona) durante 15 minutos. Posteriormente se enfriaron y se procedió a llevar a cabo las determinaciones químicas y físico-químicas.

## **3.2. METODOLOGÍA ANALÍTICA**

### **3.2.1. Determinaciones físico-químicas**

#### *3.2.1.1. Parámetros de color*

Las determinaciones de color se realizaron sobre la superficie de las muestras, hasta completar un total de nueve por cada muestra, siguiendo las recomendaciones de la American Meat Science Association (Hunt *et al.*, 1991).

Las determinaciones de color se efectuaron utilizando el colorímetro Minolta CR-2600D (Minolta Camera Co. Osaka, Japan). En todas las determinaciones de color se interpusieron cristales de baja reflectancia Minolta CR-A51/1829-752 (Minolta Camera Co. Osaka, Japan) entre las muestras y el equipo (Hunt *et al.*, 1991).

Se midieron las coordenadas de color CIELAB luminosidad ( $L^*$ ), rojo/verde ( $a^*$ ) y amarillo/azul ( $b^*$ ), a partir de las cuales se calcularon las magnitudes psicofísicas croma ( $C^*$ ), tono ( $H^*$ ) (UNE 72-031, 1983) y el índice de rojez ( $a^*/b^*$ ) (Lavelle *et al.*, 1995).

Para medir el potencial de pardeamiento de las muestras, que contienen esos azúcares o polioles, se puede emplear el índice de blancura (IB1) (Auh *et al.*, 1999) calculado a partir de los valores de las coordenadas de color Luminosidad ( $L^*$ ), rojo-verde ( $a^*$ ) y amarillo-

azul ( $b^*$ ). No obstante, Park (1994) también define otro índice de blancura (IB 2) a partir, únicamente, de las coordenadas  $L^*$  y  $b^*$ .

$$\text{Índice de blancura 1 (IB1): } 100 - \sqrt{(100 - L^{*2}) + a^{*2} + b^{*2}}$$

$$\text{Índice de blancura 2 (IB 2): } L^* - 3b^*$$

Se obtuvieron además, los espectros de reflexión de las muestras entre las longitudes de onda comprendidas entre 360 y 740 nm, considerándose los valores de reflectancia cada 10 nm.

A partir de los espectros de reflexión obtenidos se calcularon los porcentajes de las áreas correspondientes a cada uno de los colores básicos que componen la luz blanca (violeta 400-450 nm, azul 450-520 nm, verde 520-580 nm, amarillo 580-600 nm, naranja 600-650 y rojo 650-700nm) respecto al área total del espectro de las muestras según la 1ª Regla de Newton-Cotes o Regla trapezoidal (Curtis, 1990).

La conversión de la mioglobina presente en las muestras de carne fresca a los distintos estados puros de la misma (metamioglobina, mioglobina y oximioglobina) se realizaron de acuerdo a las directrices expuestas por Hunt *et al.* (1991).

### 3.2.1.2. pH

El pH se determinó en cada muestra y después de cada lavado por triplicado, usando un equipo Crison modelo GLP21 y un electrodo de punción Crison nº 52-32 (Crison Instrument SA, Alella, Barcelona, España). Estas medidas de pH fueron realizadas bajo las directrices del Ministerio de Sanidad y Consumo (1985). Las mediciones se realiza-

ron de manera directa sobre la carne de ave mecánicamente recuperada.

### 3.2.1.3. Textura

A las muestras de CAMR ya gelificadas, con las distintas combinaciones de aditivos de lavado y de crioprotectores, se les determinaron diferentes parámetros texturales.

El ensayo consistió en hacer penetrar una sonda esférica, hasta una distancia prefijada, en el interior de rodajas (25 mm de altura y 30 mm de diámetro) de producto gelificado. Para ello, se utilizó un texturómetro TA-XT2i (Stable Micro Systems, Surrey, U.K.), con una célula de carga de 245 N. El tipo de sonda utilizada fue una sonda esférica de acero inoxidable de 5 mm de diámetro, la velocidad de la sonda durante la prueba fue de 1 mm/s y la distancia de penetración de 15 mm. Se obtuvieron un mínimo de 10 rodajas. Se eliminó la tripa antes de obtener la medida de textura. Las muestras se atemperaron a 5°C durante al menos 48 horas, antes de efectuar el ensayo.

Se determinaron la deformación (mm), la fuerza de fractura (g), la distancia de fractura (mm), la fuerza de gel, expresada como el producto de la fuerza de fractura (g) por la deformación (cm), el trabajo necesario para la penetración a 15mm (gmm) y la fuerza (g) media necesaria para la penetración hasta 15mm.

A las muestras de gel se les aplicó la prueba de plegado (Antonomanolaki *et al.*, 1999, Nowsad *et al.*, 2000a; Park, 2000) para lo que, rodajas de gel de 2 mm de espesor se doblaron por la mitad y en cuartos. La clasificación que se estableció es la que se detalla en la tabla 5.

**Tabla 5.** Clasificación de la prueba de plegado

| CLASIFICACIÓN | PRUEBA DE PLEGADO  |
|---------------|--|
| 1             | Si se dobla en 2, se parte en 2                                    |
| 2             | Si se dobla en 2, se agrieta                                       |
| 3             | Si se dobla en 2, no se agrieta; pero si se dobla en 4, se parte   |
| 4             | Si se dobla en 2, no se agrieta; pero si se dobla en 4, se agrieta |
| 5             | Si se dobla en 4, no se agrieta                                    |

### 3.2.2. Determinaciones químicas

#### 3.2.2.1. Proteínas

La determinación de proteínas se realizó mediante el método Kjeldahl, siguiendo las directrices del método de la AOAC 928.08 (AOAC, 2000). Los resultados se expresaron en % (kg de proteínas/100 kg de muestra).

#### 3.2.2.2. Humedad

La determinación de humedad se realizó siguiendo las directrices de la Norma ISO R-1442, utilizando una estufa P. Selecta (P. Selecta SA, Abrera, Barcelona; España). Los resultados se expresaron en % (kg de agua/100 kg de muestra).

### 3.2.2.3. Cenizas

La determinación de cenizas de la carne de pollo mecánicamente recuperada se realizó siguiendo las directrices de la Norma ISO R-936, utilizando un horno mufla Hobersal (modelo 12 PR/300, serie 8B). Previamente las muestras fueron secadas en una estufa a vacío JP Selecta Vacio-Term (JP selecta SA, Abrera; Barcelona, España). Los resultados se expresaron en % (kg de cenizas/100 kg de muestra).

### 3.2.2.4. Grasa

La determinación de grasas de la carne de pollo mecánicamente recuperada se realizó siguiendo las directrices de la Norma ISO R-1443, utilizando un extractor Soxhlet JO Selecta Mod. 6003286 (JP Selecta SA, Abrera, Barcelona, España). Las muestras fueron secadas previamente en una estufa a vacío JP Selecta Vacio-Term (JP selecta SA, Abrera; Barcelona, España). Los resultados se expresaron en % (kg de grasa/100 kg de muestra)

### 3.2.2.5. Proporción de los diferentes estados de la mioglobina

Para estudiar la proporción de los diferentes estados de los hemopigmentos en la CAMR, se realizó la conversión de los hemopigmentos presentes en las muestras de carne a los distintos estados puros de los mismos (reducido, oxidado y oxigenado). Asimismo se repitió el estudio con pechuga y muslo de pollo, para proceder a su comparación ulterior, de acuerdo con las directrices expuestas por Hunt *et al.* (1991).

### 3.3. METODOLOGÍA ESTADÍSTICA

Los análisis estadísticos se realizaron mediante el paquete estadístico Statgraphics Plus 2.0 (Statistical Graphics Corp., Rockville, USA), determinándose el Análisis de Varianza Multifactorial (ANOVA). Se realizaron contrastes ortogonales aplicando el test de Tukey, con un intervalo de confianza del 95% ( $P < 0,05$ ) para aquellos factores que mostraban diferencias significativas entre las medias. Para determinar, a posteriori, donde se encontraban las diferencias significativas en la interacción de los distintos niveles de los factores estudiados, se aplicó el test de Scheffe (Afifi y Azen, 1976) con un nivel de confianza similar al test de Tukey. Los diseños estadísticos, aplicados a cada una de las experiencias, fueron los siguientes:

#### 3.3.1. Caracterización de la materia prima

##### 3.3.1.1. Caracterización química y físico-química de la materia prima

Se determinaron la media y las desviaciones estándar de todas las propiedades químicas y físico-químicas consideradas en este estudio.

Para comparar los parámetros de color de las distintas piezas anatómicas con la CAMR, se procedió a realizar un ANOVA de un factor considerando 3 niveles (1: muslo; 2: pechuga y 3: CAMR).

##### 3.3.1.2. Estados de los hemopigmentos

Para los parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $H^*$ , rojez), el pH y el porcentaje de reflectancia para cada longitud de onda de los estados de los hemopigmentos, se consideraron dos factores: tipo de car-

ne con tres niveles (CAMR, pechuga y muslo) y estado (oxidado, reducido y oxigenado).

### **3.3.2. Determinación de las condiciones óptimas de lavado**

#### *3.3.2.1. Tiempo de lavado y número de lavados*

Para los parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $H^*$ , rojez), pH y para las proteínas solubles en el agua de lavado, se consideraron dos factores: el número de lavados con siete niveles (1 para la materia prima sin lavar, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 para el primer, segundo, tercer, cuarto, quinto y sexto lavado, respectivamente) y el tiempo de lavado (0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 y 90 min).

Para el contenido en cenizas, grasa y humedad de la CAMR se consideró el factor lavado, a dos niveles: antes y después del ciclo de lavados.

#### *3.3.2.2. Aditivos de lavado*

Se realizó un análisis de varianza considerando los factores lavado, a 7 niveles, correspondiente a la CAMR sin lavar y después de cada uno de la serie de 6 lavados y el factor aditivo de lavado, con 4 niveles. En la tabla 6 se muestran los niveles del factor aditivo de lavado considerado, para la caracterización físico-química (color y pH) de la CAMR.

**Tabla 6.** Niveles del factor aditivo de lavado de la carne de ave mecánicamente recuperada

| ADITIVO DE LAVADO     | NIVELES | CONCENTRACIÓN (%) |
|-----------------------|---------|-------------------|
| CLORURO SÓDICO        | 1       | 0,000             |
|                       | 2       | 0,500             |
|                       | 3       | 1,000             |
|                       | 4       | 1,500             |
| TRIPOLIFOSFATO SÓDICO | 1       | 0,000             |
|                       | 2       | 0,005             |
|                       | 3       | 0,010             |
|                       | 4       | 0,015             |
| LACTATO SÓDICO        | 1       | 0,000             |
|                       | 2       | 0,500             |
|                       | 3       | 0,750             |
|                       | 4       | 1,000             |
| ÁCIDO LÁCTICO         | 1       | 0,000             |
|                       | 2       | 0,250             |
|                       | 3       | 0,500             |
|                       | 4       | 0,750             |
| BICARBONATO SÓDICO    | 1       | 0,000             |
|                       | 2       | 0,250             |
|                       | 3       | 0,500             |
|                       | 4       | 0,750             |

Para la caracterización química sólo se consideró el factor aditivo de lavado, realizándose los análisis después de la serie de seis lavados.

### 3.3.3. Caracterización del proceso de obtención de geles cárnicos a partir de CAMR

#### 3.3.3.1. Etapa de lavado

En la tabla 7 se muestran los niveles de los factores aditivo de lavado considerado y número de lavados, para la determinación de los parámetros de color de la CAMR después de la etapa de lavado.

**Tabla 7.** Niveles de los factores considerados en el estudio de la etapa de lavado

| FACTORES          | NIVELES |                            |
|-------------------|---------|----------------------------|
| ADITIVO DE LAVADO | 1       | BICARBONATO SÓDICO (0,25%) |
|                   | 2       | ÁCIDO LÁCTICO (0,75%)      |
|                   | 3       | CLORURO SÓDICO (1%)        |
| Nº DE LAVADOS     | 1       | CAMR SIN LAVAR             |
|                   | 2       | LAVADA 1 VEZ               |
|                   | 3       | LAVADA 2 VECES             |
|                   | 4       | LAVADA 3 VECES             |

#### 3.3.3.2. Etapa de congelación

En la tabla 8 se muestran los niveles de los factores aditivo de lavado considerado y crioprotector, para la determinación de los parámetros de color de la CAMR después de la etapa de congelación.

**Tabla 8.** Niveles de los factores considerados en el estudio de la etapa de congelación

| FACTORES          | NIVELES |                            |
|-------------------|---------|----------------------------|
| ADITIVO DE LAVADO | 1       | BICARBONATO SÓDICO (0,25%) |
|                   | 2       | Ácido Láctico (0,75%)      |
|                   | 3       | Cloruro sódico (1%)        |
| CRIOPROTECTOR     | 1       | Sin crioprotector          |
|                   | 2       | Sorbitol (3%)              |
|                   | 3       | Tripolifosfato sódico (3%) |

### 3.3.3.3. Etapa de gelificación

En la tabla 9 se muestran los niveles de los factores aditivo de lavado considerado y crioprotector, para la determinación de todas las variables estudiadas en la CAMR después de la etapa de gelificación.

**Tabla 9.** Niveles de los factores considerados en el estudio de la etapa de gelificación

| FACTORES          | NIVELES |                            |
|-------------------|---------|----------------------------|
| ADITIVO DE LAVADO | 1       | BICARBONATO SÓDICO (0,25%) |
|                   | 2       | CLORURO SÓDICO (1%)        |
| CRIOPROTECTOR     | 1       | SIN CRIOPROTECTOR          |
|                   | 2       | SORBITOL (3%)              |
|                   | 3       | TRIPOLIFOSFATO SÓDICO (3%) |

Al no conseguirse la gelificación de la CAMR lavada con ácido láctico, no se consideró para el estudio.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

#### 4.1.1. Caracterización química

La composición proximal de la CAMR tiene un amplio intervalo de variación, debido a los diferentes orígenes de los que procede (Al-Najdawi y Abdullah 2002): especie animal (pollo, pavo, etc.) (Dimick *et al.*, 1972; Grunden *et al.*, 1972; Essary, 1979; Pérez Dubé *et al.*, 2000); edad del animal (Dimick *et al.*, 1972; Grunden *et al.*, 1972; Fronning, 1980) (gallina ponedora, cuyo ciclo productivo ya ha concluido, o pollos de engorde); relación hueso/carne (Essary, 1979; Fronning, 1980); métodos de obtención y diámetro de placas (5-16 mm) (Schnell *et al.*, 1973); tipo de pieza utilizada (cuello, caparazones, rabadillas, etc.) (Satterlee *et al.*, 1971; MacNeil *et al.*, 1978; Essary, 1979; Fronning, 1980; Yang y Fronning, 1992) así como la cantidad de piel (Satterlee *et al.*, 1971) y médula ósea (Field, 1999) que acompaña a esa carne.

En la tabla 10 se muestran los valores medios del contenido en grasa, humedad, cenizas y proteínas de la CAMR, empleada en las experiencias.

**Tabla 10.** Valores medios y desviación estándar (STD) del contenido en grasa, humedad, cenizas y proteínas de la CAMR

|           | MEDIA* | STD  |
|-----------|--------|------|
| GRASA     | 16,00  | 0,33 |
| HUMEDAD   | 66,11  | 0,40 |
| CENIZAS   | 1,07   | 0,10 |
| PROTEÍNAS | 16,16  | 0,23 |

\*Resultados expresados en % ( kg/100 kg de materia húmeda)

Al analizar el contenido en grasa, la bibliografía consultada mostraba una gran variedad de resultados, fruto de los factores anteriormente mencionados. Sin embargo, los valores obtenidos en este trabajo son similares a los descritos en los trabajos de Froning (1980), MacNeil *et al.* (1978), Essary (1979), Pérez-Dubé *et al.* (2000), Rivera *et al.* (2000a) y Mielnik *et al.* (2002).

En cuanto a comparar el contenido en humedad de la materia prima obtenido en este trabajo con la bibliografía, únicamente se han encontrado valores similares en los trabajos de Essary (1979), Froning (1980), Lin y Chen (1989), Pérez Dubé *et al.* (2000); Rivera *et al.* (2000a) y Mielnik *et al.* (2002). Las grandes diferencias encontradas entre los valores de este parámetro se deberían, fundamentalmente, al tipo de pieza utilizado, al contenido en piel, etc.

Debido a que el contenido en proteínas de la CAMR depende de factores tales como el tipo de pieza utilizada, la relación hueso/carne, o incluso, la posible desnaturalización de algunas proteínas, existe una variación considerable en la bibliografía consultada. Grunden *et al.*, (1972) obtuvieron resultados de un 9,3% de contenido en proteínas en CAMR, procedente de caparazones y cuellos de gallina, frente a un 15,5% que contenía la CAMR de pavo estudiada por

Essary (1979). Los datos que mostraron los estudios de Lyon *et al.* (1978), MacNeil *et al.* (1978), Babji *et al.* (1980), Froning (1980) y Rivera *et al.* (2000a) están dentro de estos límites, como, así mismo, los resultados de este trabajo.

Normalmente, el contenido de cenizas en determinados cortes y/o piezas de carnes se considera como el contenido en minerales del mismo. Sin embargo, las nuevas tecnologías utilizadas en la obtención de carne han hecho que este concepto varíe ya que, su obtención favorece la incorporación de otros componentes a la misma. Por eso, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos señala que, en la CAMR, la determinación de las cenizas es una herramienta fundamental para conocer el contenido de hueso en este tipo de carnes (USDA, 1986).

El contenido en cenizas en la fracción magra varía inversamente con el contenido de grasa y, se considera, de acuerdo con lo descrito por Field (2000), que el contenido normal de cenizas es del 1%. No obstante, el contenido de cenizas en la CAMR varía en función del tipo de hueso, plano o redondo, de la edad del animal (Orban *et al.*, 1993) y de la parte anatómica del mismo que es procesada. En el caso de la CARM, las cenizas provienen fundamentalmente de las vértebras, "costillas", tibia y fémur entre otros conteniendo, por ejemplo la tibia, un 14,1% de cenizas (Field, 2000).

Estudios relativamente recientes como el de Rivera *et al.* (2000a) muestran que el contenido en cenizas de la CAMR es de 1,16%, valor muy próximo al de este estudio. Las diferencias encontradas en bibliografía, referidas al contenido de cenizas de la CAMR se pueden deber a las variaciones en la presión de trabajo de la máquina recuperadora (Field, 1999), puesto que a mayor presión utilizada para la

obtención de la CAMR, mayor ruptura ósea y, por tanto, el contenido en cenizas se incrementa.

#### **4.1.2. pH**

El pH promedio de la CAMR empleada en este estudio fue de 6,43 (std 0,18). Otros autores (Pérez Dubé *et al.*, 2000), obtenían valores de pH similares en la materia prima empleada (6,4 –6,5). Los valores de pH tan elevados que muestra esta carne son propios de carnes recuperadas mecánicamente, por la inclusión de “medula roja” de los huesos, que tiene un pH entre 6,8 y 7,4.

#### **4.1.3. Color**

##### *4.1.3.1. Parámetros de color*

En la tabla 11 se muestran los resultados de los parámetros de color obtenidos para la CAMR empleada en este trabajo, así como de la carne de muslo y pechuga de pollo.

El color de la carne y de los productos cárnicos, está relacionado con distintos factores (Fletcher, 2002), entre los que cabría destacar el contenido en hemopigmentos (Onyango *et al.*, 1998), en grasa (Fernández-Gines, 1998) y la humedad (Campo, 1991; Swatland, 1995; Rosmini, 1997; Fernández-López *et al.*, 2000; Fernández-López *et al.*, 2004).

El Análisis de Varianza (ANOVA) efectuado señaló que para todos los parámetros de color se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) (tabla 11). Al analizar la coordenada luminosidad ( $L^*$ ) de las muestras de CAMR se puede apreciar que el valor de esta coordenada es inferior al obtenido para el muslo y pechuga de pollo (tabla

11). Estos datos concuerdan con los descritos por Millar *et al.* (2000) para estas piezas anatómicas. No obstante, en los trabajos de Pérez-Álvarez *et al.* (1998), Fletcher (1999) y Smith *et al.* (2002), se obtienen valores más bajos para esta coordenada en pechuga de pollo. Estas diferencias podrían atribuirse entre otros factores al pH de las muestras (Fletcher *et al.*, 1999) y a su relación con la capacidad de retención de agua (CRA): a mayor valor de pH, mayor CRA y menor luminosidad (Kauffman *et al.*, 1991). El pH de la pechuga de pollo de este estudio fue de 5,8 frente al 6,1 del pH de las muestras de pechuga del estudio de Pérez-Álvarez *et al.*, (1998). Otros factores como la edad y el origen de los hidratos de carbono de la dieta del animal, también podrían influir (Smith *et al.*, 2002).

Los valores de  $L^*$  obtenidos en este trabajo permitirán considerar a la CAMR, de acuerdo a la clasificación de Qiao *et al.*, (2002), como una pechuga de pollo más luminosa de lo normal. McKee *et al.*, (2001) elaboraron productos cárnicos a partir de CAMR y de muslo de pollo y era con esta última carne con la que obtenían los mayores valores de luminosidad.

En estas piezas de carne, la luminosidad alcanza valores que oscilan entre 60 y 65, frente al valor promedio de 43,42 encontrado en las muestras de CAMR. En cambio, la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) de muslo y pechuga resultó significativamente inferior ( $P < 0,05$ ) en estas otras piezas (valores entre 3 y 6) que en CAMR, debido al contenido de ésta en médula ósea y hemopigmentos. La coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), de muslo y pechuga de pollo, es también más baja que en CAMR ( $P < 0,05$ ).

**Tabla 11.** Parámetros de color obtenidos de la CAMR empleada en las experiencias y de pechuga y muslo de pollo

|       | PECHUGA |      | MUSLO  |      | CAMR   |      |
|-------|---------|------|--------|------|--------|------|
|       | MEDIA   | STD  | MEDIA  | STD  | MEDIA  | STD  |
| L*    | 64,01a  | 1,35 | 59,95b | 1,22 | 43,42c | 0,22 |
| a*    | -1,28c  | 0,09 | 0,11b  | 0,20 | 18,79a | 0,21 |
| b*    | 4,92b   | 0,24 | 3,48c  | 0,39 | 13,68a | 0,15 |
| C*    | 5,08b   | 0,25 | 3,48c  | 0,40 | 23,41a | 0,22 |
| H*    | 104,53a | 0,53 | 88,36b | 3,20 | 36,51c | 0,32 |
| a*/b* | -0,26c  | 0,40 | 0,03b  | 0,50 | 1,40a  | 0,20 |

L\*: luminosidad; a\*: coordenada rojo-verde; b\*: coordenada amarillo-azul; C\*: magnitud psicofísica cromática; H\*: magnitud psicofísica tono; a\*/b\*: índice de rojez.

a-c: Letras diferentes en la misma fila, denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores medios

#### 4.1.3.2. Espectros de reflexión

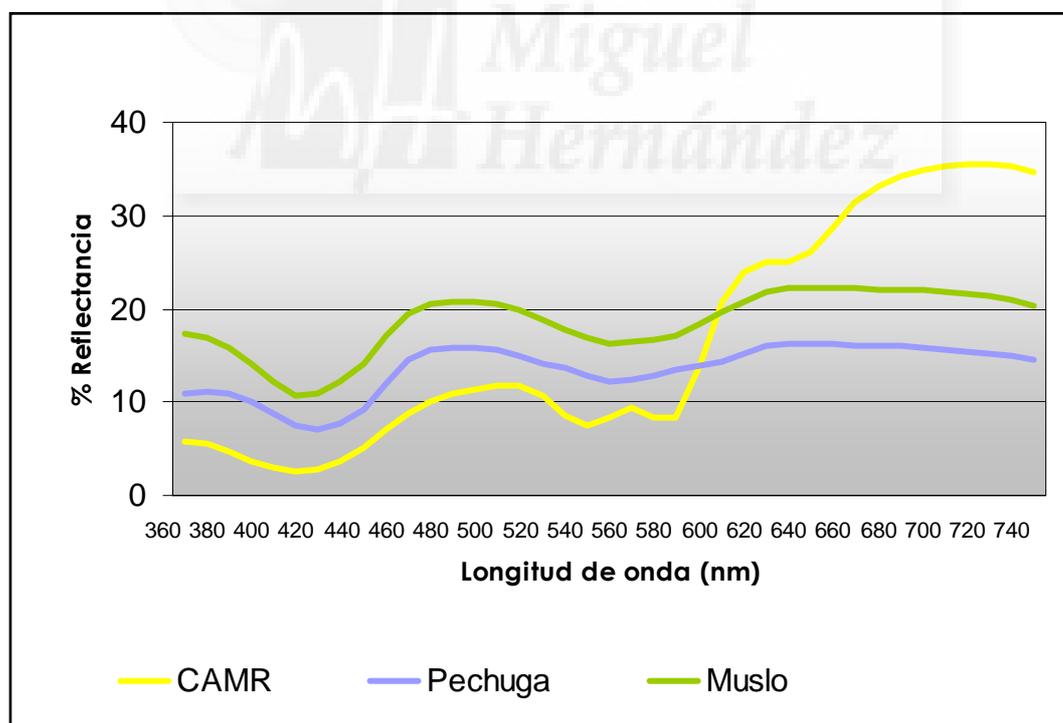
Los espectros de reflexión pueden verse modificados por distintos tratamientos tecnológicos. En muchos casos, estos efectos se correlacionan con el color percibido por el consumidor. La forma del espectro también puede no verse afectada por los tratamientos (Fontes *et al.*, 2004; Mancini *et al.*, 2005), de aquí que sea importante que se identifiquen, para cada caso, longitudes de onda específicas o regiones de longitudes de onda en las que los tratamientos puedan afectar a la "huella digital" que representan los espectros de reflexión. El espectro de reflexión (360-740 nm) de la CAMR, utilizada en el presente estudio, se presenta en la figura 7, junto con el espectro de la pechuga y muslo de pollo. Las fuentes bibliográficas consultadas no aportan datos sobre las características y forma del mismo. La representación del espectro de reflectancia es similar, en algunas zonas del

mismo, al que presentan otras carnes frescas o zonas óseas (Perlo, 1997; Gago-Gago, 1999; Sánchez-Rodríguez, 1999; Fernández López *et al.*, 2000; Mancini *et al.*, 2005) presentando los picos característicos de la forma oxigenada de los hemopigmentos (Mb y Hb). Dichos picos, corresponden a las longitudes de onda 540, 560 y 580. En este espectro, también se puede apreciar, que al comparar con espectros de carne de vacuno (Snyder, 1965; Hunt *et al.*, 1991) y de porcino (Fernández-López *et al.*, 2000a) y médula de las vértebras lumbares (Mancini *et al.*, 2005) existe una meseta en las longitudes de onda cercanas a 600 y 630nm, que diferencian a la CAMR. En otros estudios también se ha apreciado que distintas zonas del espectro de reflexión pueden ser utilizadas como herramienta para caracterizar carne y productos cárnicos. Cabe destacar, que se aprecia un incremento en el porcentaje de reflectancia en las muestras de pechuga y muslo de pollo. Este comportamiento se debe, fundamentalmente, al contenido de hemopigmentos, ya que como Fernández-López (1998) describe la reflexión se ve influenciada por la concentración de estos pigmentos. A mayor concentración de hemopigmentos, menor porcentaje de reflexión entre las longitudes de onda de 400 a 600 nm (Hunt *et al.*, 1991). En la última parte del espectro rojo (600 a 740 nm), se puede apreciar como la CAMR presenta una mayor reflexión, a diferencia de la pechuga y el muslo. Este comportamiento se debería a la elevada concentración de hemopigmentos presentes en esta carne. Esta característica se aprecia también en productos cárnicos a los que se les incorporan colorantes rojos (Fernández-López *et al.*, 2002).

En la mayoría de estudios de reflexión de la luz en carne y producto cárnicos, descritos en bibliografía (Snyder *et al.*, 1965; Hunt *et al.*, 1991; Gago-Gago *et al.*, 1992; Pagán-Moreno *et al.*, 1992; Rodríguez-López *et al.*, 1992; Illescas *et al.*, 1993; Rosmini, 1997; Fernández-López, 1998 y Sánchez-Rodríguez, 1999), no se detallan valores de la parte del espectro comprendida entre 360 y 400 nm y de la parte en-

tre 700 y 740 nm, debido a que la geometría y características de los equipos empleados en dicho trabajos, no contaban con esa opción.

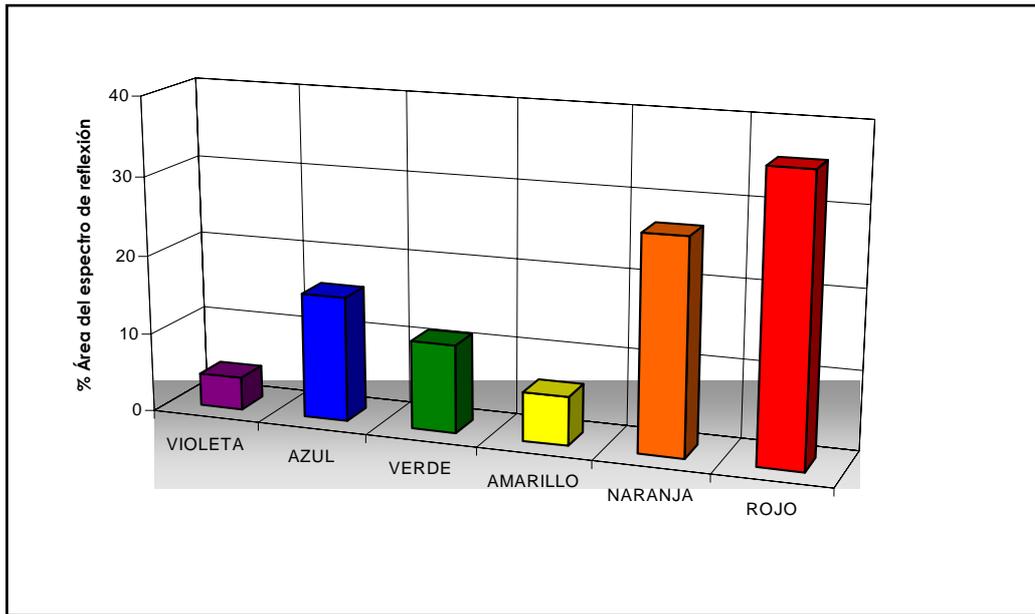
Analizando las distintas longitudes de onda, para los tres espectros de forma separada, se puede apreciar que, en el caso del muslo de pollo, y también para la pechuga de pollo, no se presentaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre las longitudes de onda 470-510 nm, ni entre 620-720 nm, aunque sí entre ambas mesetas. Esto podría indicar que el aumento, o el descenso, de los valores de las distintas mesetas depende de la concentración de hemopigmentos presentes, prueba de ello sería que en la CAMR no existe una única meseta en el rango de longitudes de onda entre 610-740 nm, sino que se forman dos mesetas. A mayor concentración de hemopigmentos, las longitudes de onda del rojo presentan mayores valores de reflexión.



**Figura 7.** Espectro de reflexión (360-740 nm) de la CAMR y del muslo y pechuga de pollo

Al comparar el espectro de otra carne con alto contenido en hemopigmentos, como es el caso del avestruz, se aprecian 2 mesetas: la primera, en el rango de longitudes entre 490-530 nm (que podría ser característica de la especie, puesto que en la CAMR no aparece y sí lo hay entre 540-550 nm) y la segunda meseta entre las longitudes de onda de 710 y 730 nm (Pérez-Álvarez, comunicación personal).

En la figura 8 se observa el porcentaje que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa respecto del área total del espectro de reflexión de la CAMR. En ella se puede apreciar que los mayores componentes de color que aporta esta carne son el naranja y el rojo. Al analizar estadísticamente los porcentajes que cada uno de los colores básicos representa respecto del área total del espectro se observó que se presentaron diferencias significativas entre todos los niveles estudiados para cada color básico (Figura 8). El aporte de cada una de las distintas áreas del espectro (expresados como colores) es similar a los descritos en el trabajo de Fernández-López (1998) y, de acuerdo a este autor, se refleja posteriormente su influencia en los valores de tono obtenidos.



**Figura 8.** Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro de la CAMR (400-700 nm)

#### 4.1.3.3. Estados de los hemopigmentos en la CAMR

##### 4.1.3.3.1. Parámetros de color

En la tabla 12 se presentan los resultados de los ANOVA realizados para los parámetros de color de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR, así como de los estados puros de la mioglobina (DMb, MMb y OMb) en pechuga y muslo de pollo.

En la tabla 13 se presentan los valores medios para los parámetros de color de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR, así como de los estados puros de la mioglobina (DMb, MMb y OMb) en pechuga y muslo de pollo.

**Tabla 12.** Resultados de los ANOVA realizados para los parámetros de color de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR, así como de los estados puros de la mioglobina (DMb, MMb y OMb) en pechuga y muslo de pollo

| VARIABLE | Factor      | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F       | P      |
|----------|-------------|-------------------|--------------------|----------------|---------|--------|
| L*       | Tipo        | 61,1508           | 2                  | 30,5754        | 6,94    | 0,0015 |
|          | Estado      | 1145,9600         | 3                  | 381,9850       | 86,73   | 0,0000 |
|          | Interacción | 561,9080          | 6                  | 93,6514        | 21,26   | 0,0000 |
| a*       | Tipo        | 2997,5500         | 2                  | 1498,7800      | 1912,78 | 0,0000 |
|          | Estado      | 179,5890          | 3                  | 59,8631        | 76,40   | 0,0000 |
|          | Interacción | 278,0250          | 6                  | 46,3375        | 59,14   | 0,0000 |
| b*       | Tipo        | 1407,7000         | 2                  | 703,8520       | 244,28  | 0,0000 |
|          | Estado      | 231,6020          | 3                  | 77,2006        | 26,79   | 0,0000 |
|          | Interacción | 228,8430          | 6                  | 38,1405        | 13,24   | 0,0000 |
| C*       | Tipo        | 3359,5700         | 2                  | 1679,7900      | 627,21  | 0,0000 |
|          | Estado      | 317,3950          | 3                  | 105,7980       | 39,50   | 0,0000 |
|          | Interacción | 458,5940          | 6                  | 76,4323        | 28,54   | 0,0000 |
| H*       | Tipo        | 51510,9000        | 2                  | 25755,5000     | 52,45   | 0,0000 |
|          | Estado      | 255,3570          | 3                  | 85,1190        | 0,17    | 0,9142 |
|          | Interacción | 3219,8200         | 6                  | 536,6360       | 1,09    | 0,0000 |
| a*/b*    | Tipo        | 28,2547           | 2                  | 14,1273        | 11,33   | 0,0000 |
|          | Estado      | 4,3479            | 3                  | 1,4493         | 1,16    | 0,3283 |
|          | Interacción | 10,1782           | 6                  | 1,6964         | 1,36    | 0,2386 |

**Tabla 13.** Valores medios para los parámetros de color de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR, así como de los estados puros de la mioglobina (DMb, MMb y OMb) en pechuga y muslo de pollo

|         |           | L*      | a*     | b*     | C*     | H*       | a*/b*   |
|---------|-----------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|
| CAMR    | OXIGENADA | 54,64a  | 13,32a | 13,83a | 19,21a | 46,02a   | 0,97a   |
|         | OXIDADA   | 55,99c  | 7,36b  | 13,04b | 15,00b | 60,15b   | 0,58b   |
|         | REDUCIDA  | 53,93b  | 8,45c  | 8,43c  | 12,00c | 44,67a   | 1,03a   |
| Pechuga | OMb       | 52,55d  | 0,06d  | 5,38d  | 5,40d  | 90,18c   | -0,01cc |
|         | MMb       | 51,35eg | -0,55e | 7,48e  | 7,55e  | 93,37cdf | -0,06c  |
|         | DMb       | 50,37fh | -0,59e | 3,41f  | 3,48f  | 100,91e  | -0,20c  |
| Muslo   | OMb       | 50,83ef | 2,41f  | 8,09c  | 8,67g  | 96,95ce  | 0,23bd  |
|         | MMb       | 51,58g  | 0,03d  | 4,35g  | 4,35h  | 89,41c   | 0,01cd  |
|         | DMb       | 50,12h  | 0,27d  | 3,82fg | 4,19h  | 99,73ef  | 0,07cd  |

OMb: oximioglobina; DMb: deoximioglobina; MMb: metamioglobina

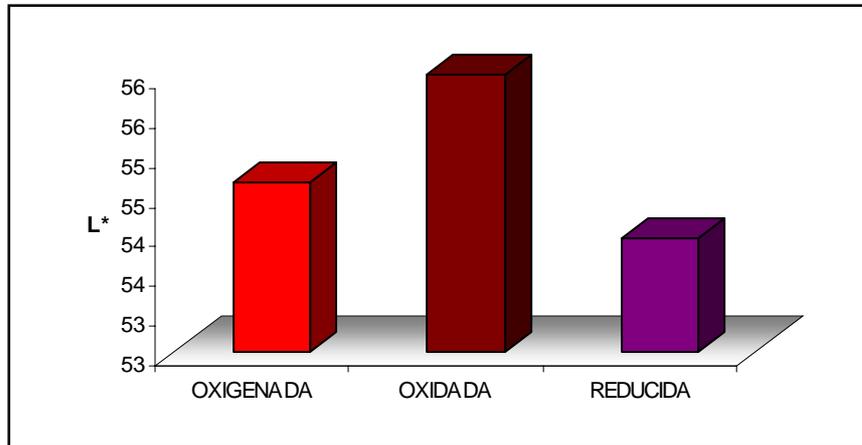
a-h: Letras diferentes en la misma columna, denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores medios

#### 4.1.3.3.1.1. Coordenada luminosidad (L\*)

En la tabla 12 se observa que se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,01$ ) para los factores considerados. El test de Tukey encontró diferencias significativas para los distintos niveles de los factores considerados (tabla 13).

En la figura 9 se representan los valores medios para la coordenada luminosidad (L\*) de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR. Para el estado oxidado de los hemopigmentos, la CAMR tiene un valor de la coordenada luminosidad muy similar al que muestra la carne de cerdo, mientras que para los estados oxigenado y reducido las muestras tienen valores superiores (Fernández-López *et al.*, 2000b). Así mismo, para los tres estados de los hemopig-

mentos, la CAMR presenta valores significativamente superiores a los que se obtuvieron para la pechuga y el muslo de pollo (tabla 13). Para todos los tipos de carne utilizada, se aprecia como la oxidación y la oxigenación incrementan los valores de esta coordenada.



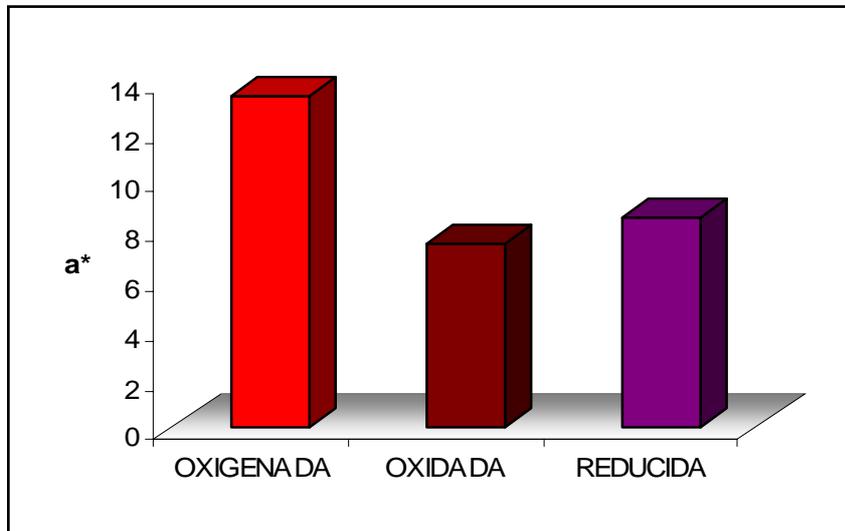
**Figura 9.** Valores de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ) para los tres estados de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR

#### 4.1.3.3.1.2. Coordenada rojo-verde ( $a^*$ )

En la tabla 12 se puede observar que se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,01$ ) para los factores considerados. El test de Tukey encontró diferencias significativas para los distintos niveles de los factores considerados.

En la figura 10 se representan los valores medios para la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR. En ella se puede observar como la oxigenación de los hemopigmentos aumentó los valores de esta coordenada, mientras que la oxidación los disminuyó. Fernández-López *et al.*, (2000b) obtuvieron menores valores de esta coordenada al estudiar los pigmentos de piezas de carne de cerdo, siendo la forma oxigenada la que mayores diferencias muestra para ambos tipos de carne.

Los valores de  $a^*$  para los tres estados de la mioglobina en pechuga y muslo de pollo son significativamente menores.



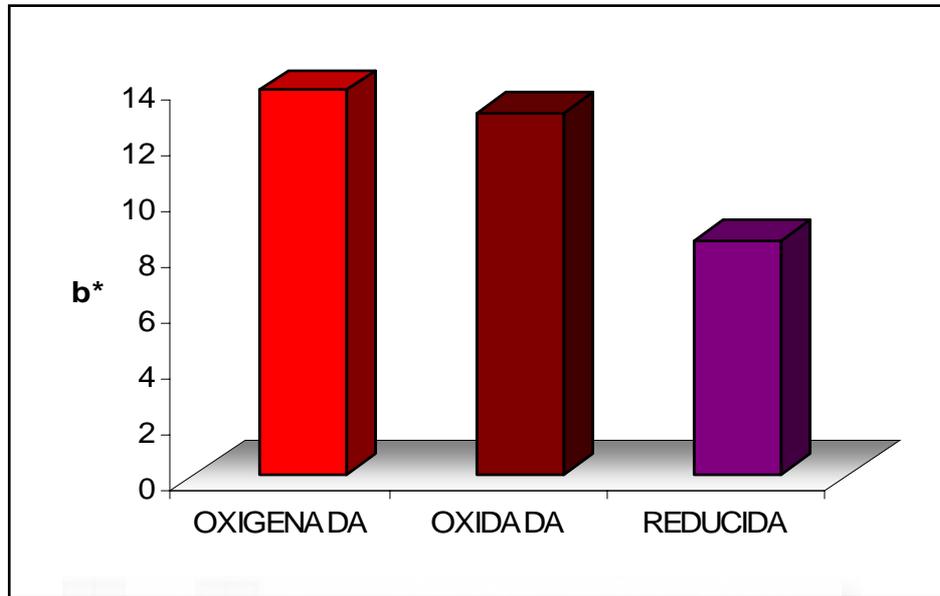
**Figura 10.** Valores de la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) para los tres estados de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR

#### 4.1.3.3.1.3. Coordenada amarillo-azul ( $b^*$ )

En la tabla 12 se puede observar que se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,01$ ) para los factores considerados. Al analizar el factor estado mediante el test de Tukey se observó que se presentaron diferencias significativas entre los tres niveles (DMb, OMb y MMb). Tanto la oxigenación como la oxidación aumentaron los valores de  $b^*$ , aunque este incremento fue mayor en el caso de la OMb. Asimismo, el test de Tukey encontró diferencias significativas para los distintos niveles de los factores considerados.

En la figura 11 se representan los valores medios para la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ) de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR. A partir de estos resultados se podría decir

que esta coordenada depende principalmente del estado de los hemopigmentos.

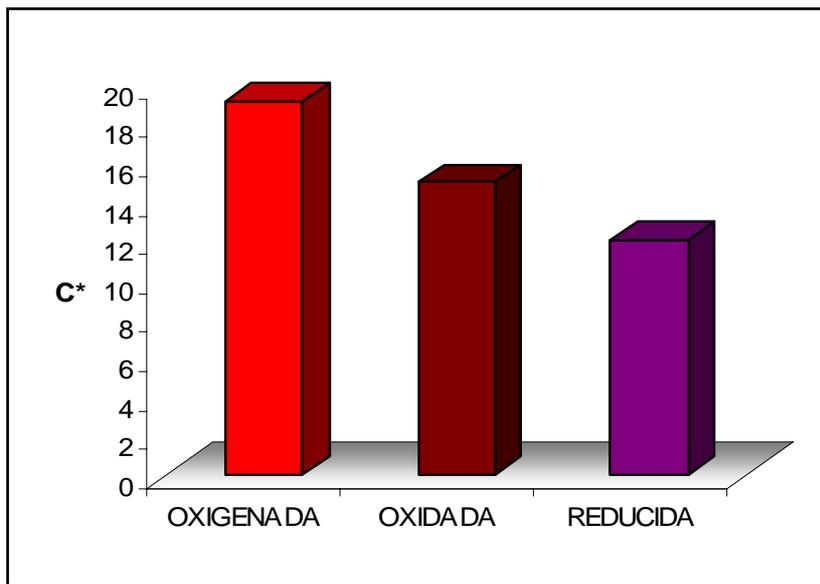


**Figura 11.** Valores de la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ) para los tres estados de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR

#### 4.1.3.3.1.4. Magnitud psicofísica croma ( $C^*$ )

En la tabla 12 se puede observar que se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,01$ ) para los factores considerados en el  $C^*$ . En la figura 12 se representan los valores medios de la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ) de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR.

Al analizar el factor estado mediante el test de Tukey se observó que no se presentaron diferencias significativas entre la forma reducida y su forma oxidada, a pesar de ello los valores de esta última fueron superiores (más saturados), pero sí fueron significativas las diferencias ( $P < 0,05$ ) con su forma oxigenada, la cual presentó aun mayor saturación (disminuye la componente gris del color) que las anteriores.



**Figura 12.** Valores de la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ) para los tres estados de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR

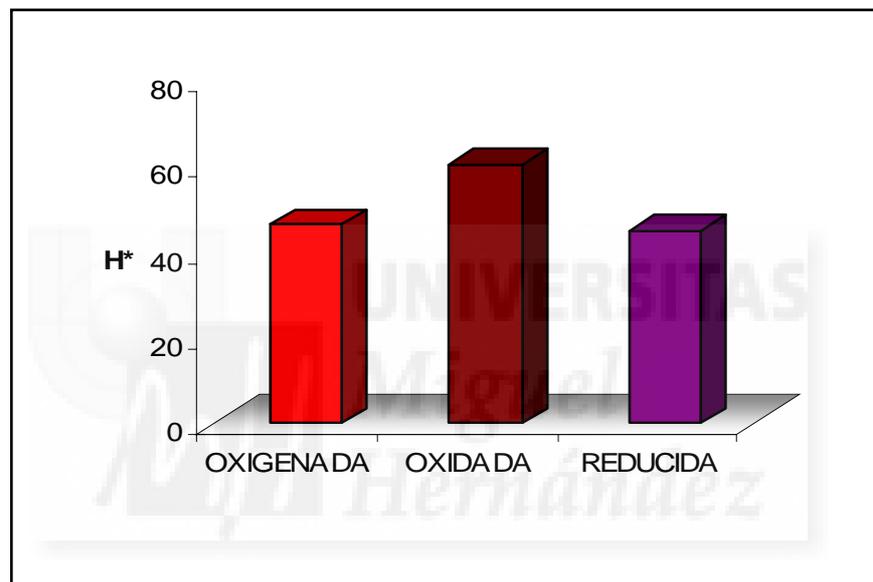
Los resultados señalan un comportamiento similar al descrito por Fernández-López *et al.*, (2000b) en magro de cerdo. En cambio, en comparación con los valores del croma encontrados en pechuga y muslo de pollo, la CAMR tiene valores superiores para los tres estados de los hemopigmentos.

#### 4.1.3.3.1.5. Magnitud psicofísica tono ( $H^*$ )

En la tabla 12 se puede observar que se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,01$ ) para los factores considerados. Al analizar el factor estado mediante el test de Tukey se observó que no se presentaron diferencias significativas entre la forma reducida y su forma oxigenada, a pesar de ello los valores de esta última fueron superiores, pero sí fueron significativas las diferencias ( $P < 0,05$ ) con su forma oxidada, la cual presentó aun mayores valores que las anteriores.

En la figura 13 se representan los valores medios de la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ) de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR.

Los valores de tono para la forma reducida y su forma oxigenada quedaron comprendidos en el rango de los tonos rojos (más específicamente naranja-rojizos) mientras que los valores de la forma oxidada quedaron comprendidos en el rango de los naranjas (Instituto Nacional de Racionalización, 1981).



**Figura 13.** Valores de la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ) para los tres estados de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR

Según estos resultados, podría decirse que las variaciones en el estado de los hemopigmentos (oxidación u oxigenación) provocan un incremento en los valores del tono, comportamiento que se vería justificado visualmente, pues a la Mb en estado puro se considera que presenta un color púrpura (el color púrpura se correspondería con un  $H^*$  comprendido entre 0 y 30°), la forma oxigenada en estado puro un color rojo brillante ( $H^*$  comprendido entre 30 y 60°) y la forma oxidada

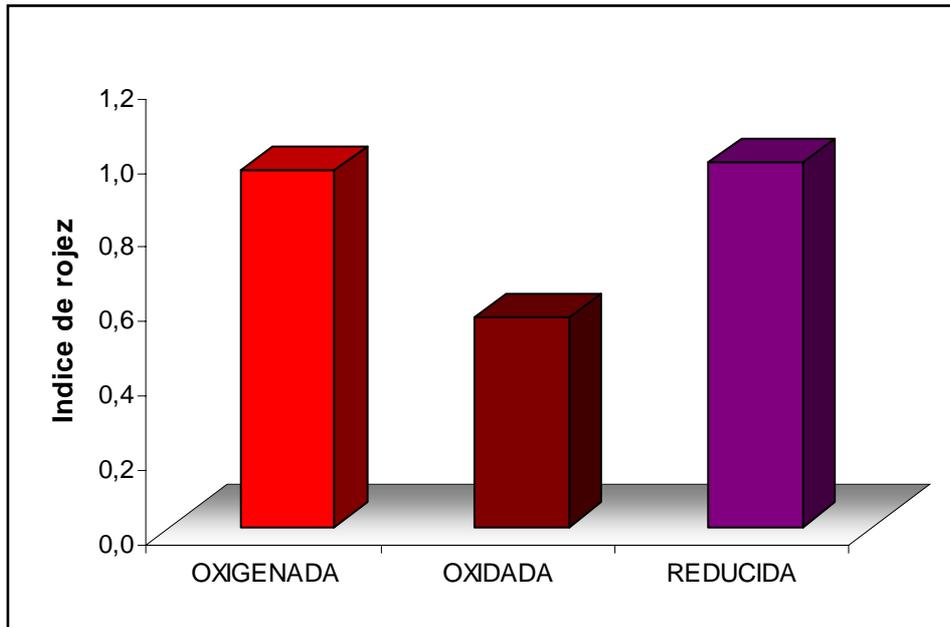
en estado puro un color marrón ( $H^*$  comprendido entre 60 y 90°) (Instituto de Racionalización, 1981).

Los valores del tono, para los tres estados los hemopigmentos en muslo y pechuga de pollo, son superiores a los encontrados en CAMR. Sin embargo, no se encuentran diferencias significativas entre la OMb y la MMb de pechuga de pollo y OMb y MMb de muslo. Así mismo, tampoco hay diferencias significativas entre la forma DMb de muslo y pechuga, siendo estas últimas diferentes significativamente de las forma OMb y MMb de ambas piezas (tabla 13).

#### 4.1.3.3.1.6. Índice de rojez ( $a^*/b^*$ )

En la tabla 12 se puede observar que se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,01$ ) para los factores considerados. Al analizar dicho factor mediante el test de Tukey se observó que no se presentaron diferencias significativas entre la forma reducida y su forma oxigenada, pero sí entre éstas y la forma oxidada. Los mayores valores de rojez se obtuvieron para la forma reducida, seguidos de la oxigenada y de la oxidada, respectivamente.

En la figura 14 se representan los valores medios del índice de rojez ( $a^*/b^*$ ) de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR.



**Figura 14.** Valores del índice de rojez ( $a^*/b^*$ ) para los tres estados de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado) en la CAMR

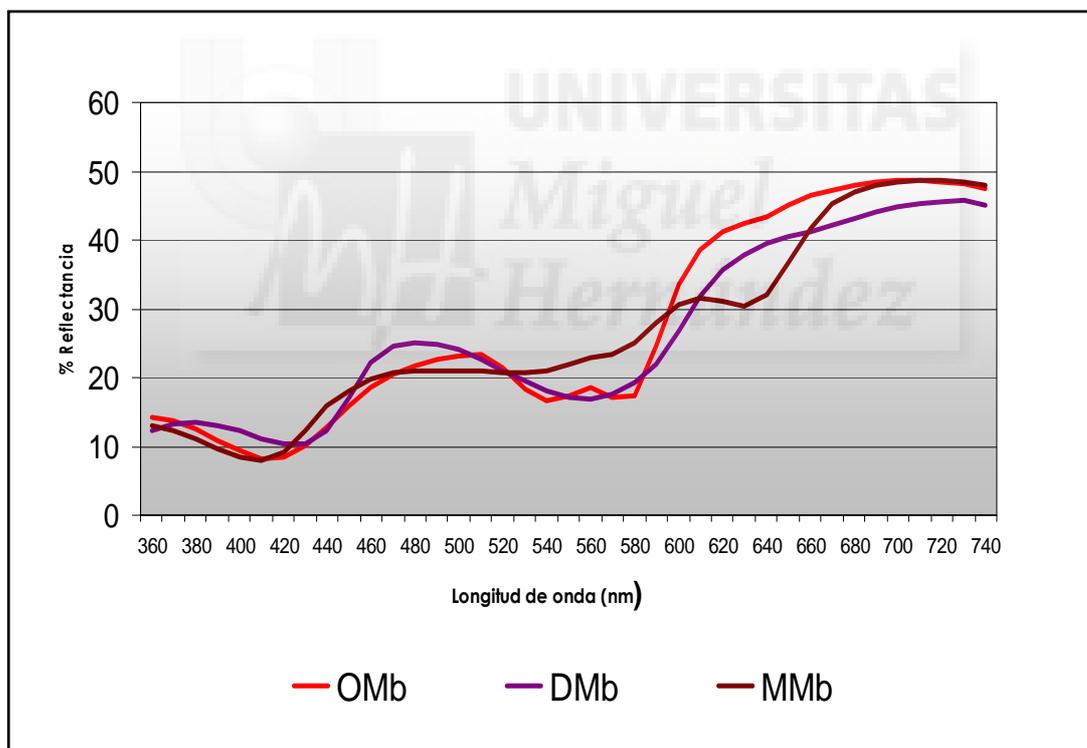
A partir de estos resultados, se podría decir que la oxigenación de los hemopigmentos incrementa la rojez, mientras que la oxidación la reduce. Este comportamiento concuerda con lo descrito por Hunt *et al.* (1991) sobre la carne fresca de vacuno y con los resultados de Fernández-López *et al.* (2000b) en carne de porcino, así como de los productos cárnicos, en general, al oxidarse.

#### 4.1.3.3.2. Espectros de reflexión

4.1.3.3.2.1. Espectros de reflexión de los tres estados de los hemopigmentos en la CAMR

En la figura 15 se representan los espectros de reflexión (360-740 nm) obtenidos para los tres estados de los hemopigmentos en la CAMR. No se han encontrado referencias bibliográficas sobre los valo-

res y la forma del espectro de cada uno de los diferentes estados de los hemopigmentos para CAMR. Los únicos valores encontrados corresponden a carne de vacuno (Hunt *et al.*, 1991), aunque en dicho trabajo no se menciona la región anatómica de procedencia. En la carne de cerdo, donde el estudio se realizó con unas mezclas de músculos de paleta de cerdo (Fernández-López *et al.*, 2000b) y también se ha descrito el espectro de absorción de los tres estados de los hemopigmentos. A pesar de que los espectros de absorción son diferentes a los de reflexión, Millar *et al.* (1996), mencionan que mediante transformaciones matemáticas las interpretaciones y los resultados pueden ser similares a los descritos mediante el análisis de reflexión.



**Figura 15.** Espectros de reflexión (400-700 nm) de los tres estados de los hemopigmentos de la CAMR (oxigenado, oxidado y reducido)

La forma del espectro para los tres estados de los hemopigmentos obtenidos en este trabajo (figura 15) es similar a la señalada para carne de vacuno por Hunt *et al.* (1991). Sin embargo, los valores de

reflectancia son superiores a los mencionados por estos autores para carne de vacuno, lo cual podría indicar un efecto de la concentración de Mb sobre la reflexión de la luz (Swatland, 1995) (a mayor concentración de hemopigmentos menor porcentaje de reflectancia). Los resultados son similares a los descritos para carne de porcino (Fernández-López *et al.*, 2000b). Este comportamiento podría indicar que la concentración de hemopigmentos podría ser similar a la carne de porcino.

Al analizar el espectro de reflexión de la CAMR se puede apreciar que, a diferencia de los espectros expresados por Snyder (1965) y Hunt *et al.*, (1991) así como por Fernández-López *et al.* (2000b), la CAMR presenta un mayor número de puntos isobéuticos (longitudes de onda idénticos para dos estados de los hemopigmentos, reducido, oxidado u oxigenado). Mientras que en estos trabajos se destacan 460, 480, 525, 540, 560, 580, 610, 630 y 650, en la CAMR se aprecian 430, 440, 450, 460, 510, 525, 560, 570, 610 y 690, presentando en muchos casos similitudes con los estudios antes mencionados. Como dato a destacar, es que se mantiene el punto isobéutico a 525 nm donde coinciden los tres estados de los hemopigmentos (reducido, oxidado y oxigenado).

En la tabla 14 se describen los distintos puntos isobéuticos encontrados que corresponden a la CAMR, así como a qué estados de los hemopigmentos corresponde cada uno de dichos puntos.

**Tabla 14.** Longitudes de onda correspondientes a los puntos isobéuticos entre las formas oxigenada, oxidada y reducida de los hemopigmentos

| ESTADO    | LONGITUD DE ONDA (nm) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|           | 430                   | 440 | 450 | 460 | 510 | 525 | 560 | 570 | 610 | 690 |
| OXIGENADO | X                     | X   | X   | X   | X   | X   | X   | X   |     | X   |
| REDUCIDO  | X                     | X   | X   |     | X   | X   | X   | X   | X   |     |
| OXIDADO   |                       |     |     | X   |     | X   |     |     | X   | X   |

X:  $P > 0,05$

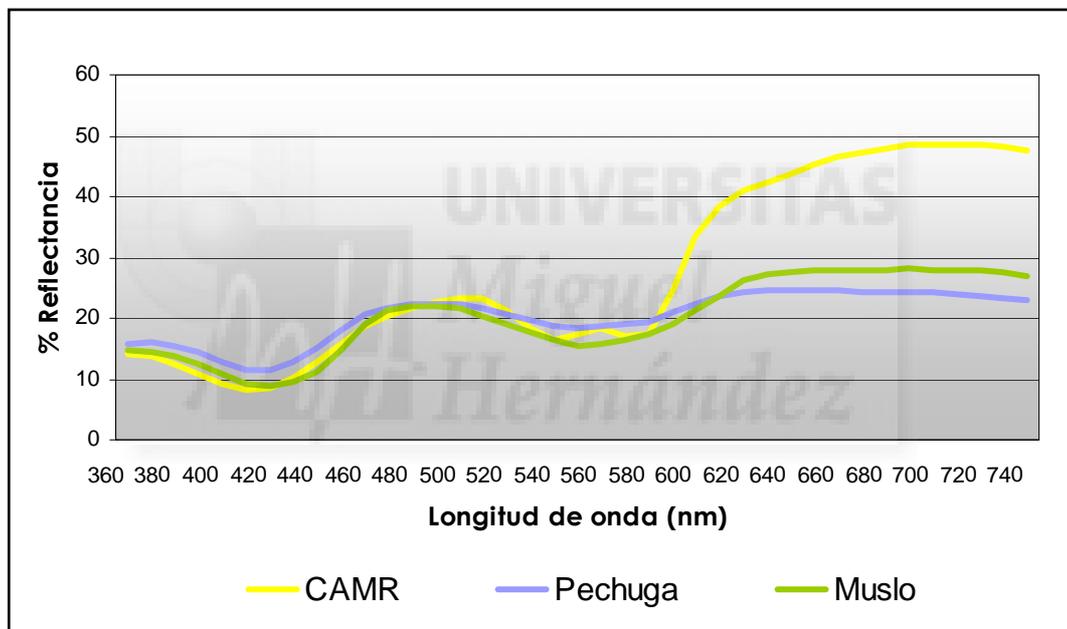
Independientemente del estado del hemopigmento en la CAMR, no existen diferencias significativas para los valores de la reflectancia entre las longitudes de onda de 700 y 740 nm aunque, en la forma reducida, es menor que en los otros dos estados (oxidado y oxigenado).

4.1.3.3.2.2. Espectros de reflexión de la forma oxigenada de los hemopigmentos en la CAMR y la oximioglobina de pechuga y muslo de pollo

En la tabla 15 se aprecian los resultados del ANOVA realizados para determinar entre que longitudes de ondas se encontraban diferencias significativas entre los tres niveles del factor (CAMR, pechuga y muslo de pollo). Los resultados señalan que en muchas longitudes de onda el espectro de reflexión de la CAMR es similar al del muslo de pollo, fundamentalmente ente las longitudes de 360 a 490 nm. Esto podría indicar que estas longitudes de onda dependerían, de forma parcial, de la concentración de hemopigmentos ya que el muslo, a diferencia de la pechuga, tiene mayor concentración en los mismos. Es de apreciar que entre 470, 480 y 490 nm, no existen diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los tres tipos de carne. Se detectaron dife-

rencias significativas para la longitud de 525 nm (punto isobéptico para la mayoría de los estados de los hemopigmentos) siendo superior el valor de la CAMR frente a pechuga y muslo. Esto podría indicar que el valor, para esta longitud onda, dependerá de la concentración de hemopigmentos.

En la figura 16 se representan los espectros de reflexión (360-740 nm) de la forma oxigenada de los hemopigmentos en la CAMR y la oximioglobina de pechuga y muslo de pollo.



**Figura 16.** Espectros de reflexión (360-740 nm) de la forma oxigenada de los hemopigmentos en la CAMR y la oximioglobina de pechuga y muslo de pollo

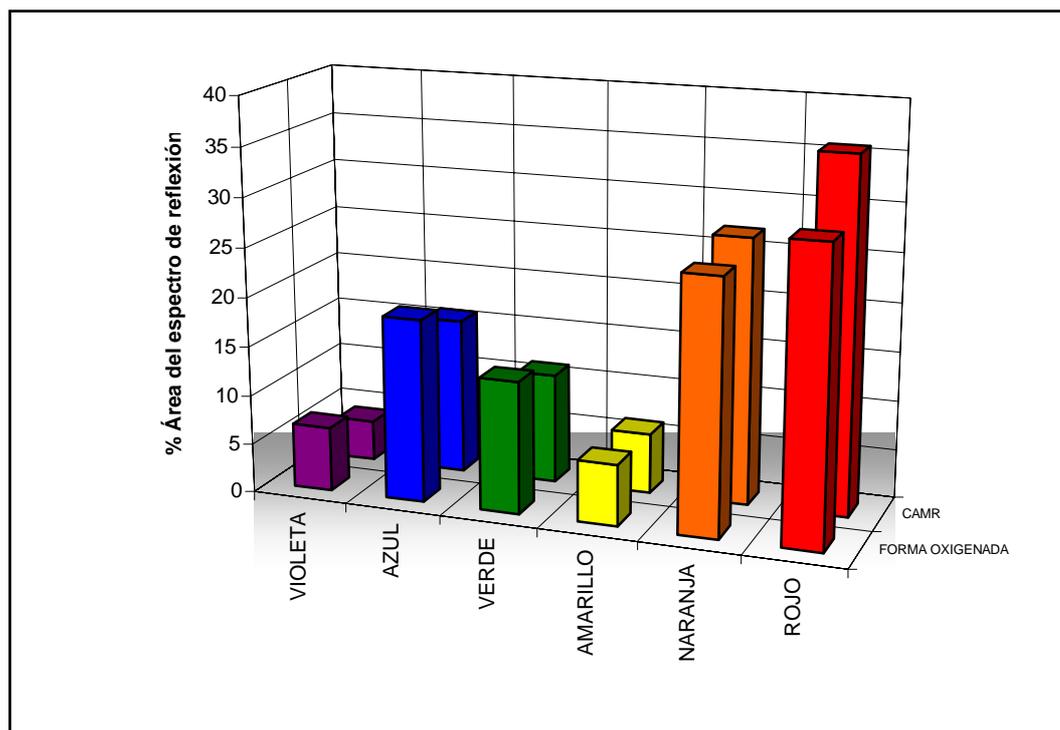
**Tabla 15.** Longitudes de onda correspondientes a los puntos isobéuticos entre las formas oxigenada de la CAMR y del muslo y pechuga de pollo (OMb)

| LONGITUD DE ONDA (nm) | TIPO DE CARNE |         |       |
|-----------------------|---------------|---------|-------|
|                       | CAMR          | PECHUGA | MUSLO |
| 360                   | X             | X       | X     |
| 370                   | X             |         | X     |
| 380                   | X             |         | X     |
| 400                   | X             |         | X     |
| 410                   | X             |         | X     |
| 420                   | X             |         | X     |
| 430                   | X             |         | X     |
| 450                   | X             |         | X     |
| 460                   | X             |         | X     |
| 470                   | X             | X       | X     |
| 480                   | X             | X       | X     |
| 490                   | X             | X       | X     |
| 510                   | X             | X       |       |
| 520                   | X             | X       |       |
| 530                   | X             |         | X     |
| 540                   | X             |         | X     |
| 550                   | X             | X       |       |
| 560                   | X             | X       |       |
| 580                   | X             |         | X     |
| 610                   |               | X       | X     |

X:  $P > 0,05$ ; CAMR: carne de ave mecánicamente recuperada

En la figura 17 se observa el porcentaje que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa respecto del área total del espectro de reflexión de la CAMR. En ella se puede apreciar que los mayores componentes de color que

aporta esta carne son el naranja y el rojo, aunque se debe considerar también el aporte del azul, no apreciándose diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre las componentes azul, verde y amarillo de la CAMR y de la forma oxigenada de los hemopigmentos de dicha carne. Al comparar la forma oxigenada, reducida y oxidada de la CAMR con respecto a la muestra (figuras 18, 20 y 22), el análisis estadístico señaló que, para la componente violeta, se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre la forma oxigenada y la muestra, siendo esta última de un valor inferior. Mientras que para la forma reducida y oxidada no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ). Este mismo análisis para la componente azul señaló que no presentaron diferencias significativas únicamente la forma oxigenada y la oxidada, siendo el valor más bajo el de la muestra. El resto de estados presentaron diferencias entre ellos y las anteriormente mencionadas. En cuanto a las componentes verde, naranja y roja, se presentaron diferencias significativas entre todos los estados analizados. En lo que respecta a la componente amarilla, la única muestra que presentó diferencias significativas fue el estado oxidado, siendo su valor superior del resto.



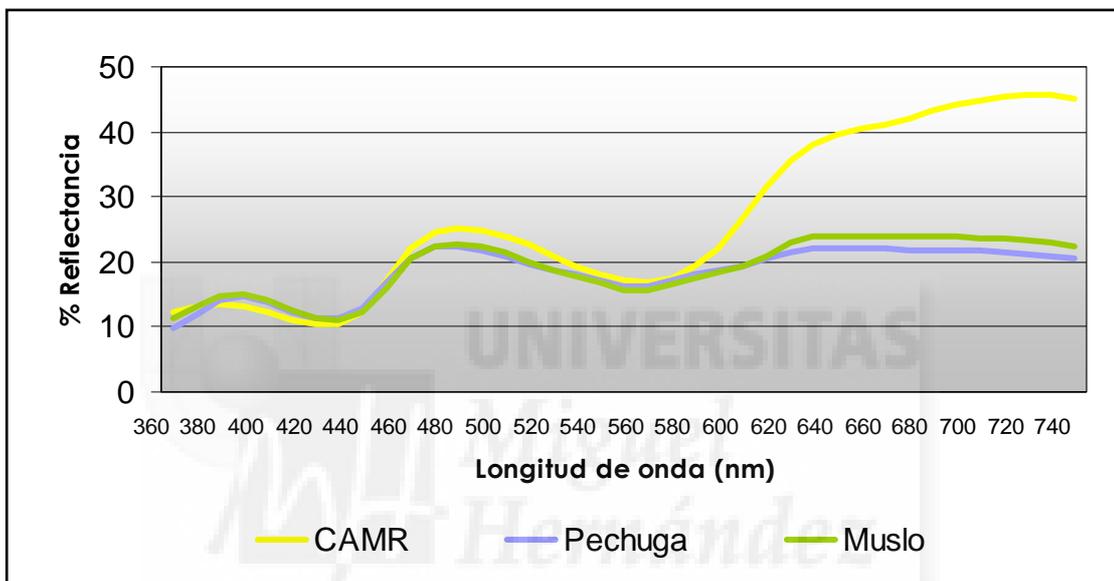
**Figura 17.** Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro de la CAMR

4.1.3.3.2.3. Espectros de reflexión de la forma reducida de los hemopigmentos en la CAMR y la deoximioglobina de pechuga y muslo de pollo

En la tabla 16 se muestran los resultados del ANOVA realizado para determinar entre qué longitudes de onda se encontraban diferencias significativas entre los tres niveles del factor (CAMR, pechuga y muslo de pollo). Los resultados señalan que, a diferencia de lo observado en la tabla 15, únicamente no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los tres niveles en la longitud de onda 440 nm y las únicas longitudes de onda en las cuales no se presentaron diferencias significativas entre la CAMR y el muslo de pollo fueron la 370 y 430 nm, además de la 440 anteriormente mencionada. Únicamente la longitud de onda de 380 nm no presentó diferencias significativas entre la CAMR y la pechuga de pollo. Es de destacar que, en general,

los valores de reflectancia de la CAMR son superiores a los de pechuga y muslo de pollo, aspecto que podría estar relacionado, como se mencionó anteriormente con el contenido de hemopigmentos.

En la figura 18 se representan los espectros de reflexión (360-740 nm) de la forma reducida de los hemopigmentos en la CAMR y la deoximioglobina de pechuga y muslo de pollo.



**Figura 18.** Espectros de reflexión (360-740 nm) de la forma reducida de los hemopigmentos en la CAMR y la deoximioglobina de pechuga y muslo de pollo

En el intervalo de longitudes de onda entre 400 y 580 nm no se observaron diferencias significativas entre la forma reducida de los hemopigmentos de la CAMR y la deoximioglobina de pechuga y muslo de pollo. Las diferencias en el porcentaje de reflectancia, a partir de esas longitudes de onda, entre la CAMR y el muslo y la pechuga se deben a que estas dos últimas tienen menor concentración de hemopigmentos.

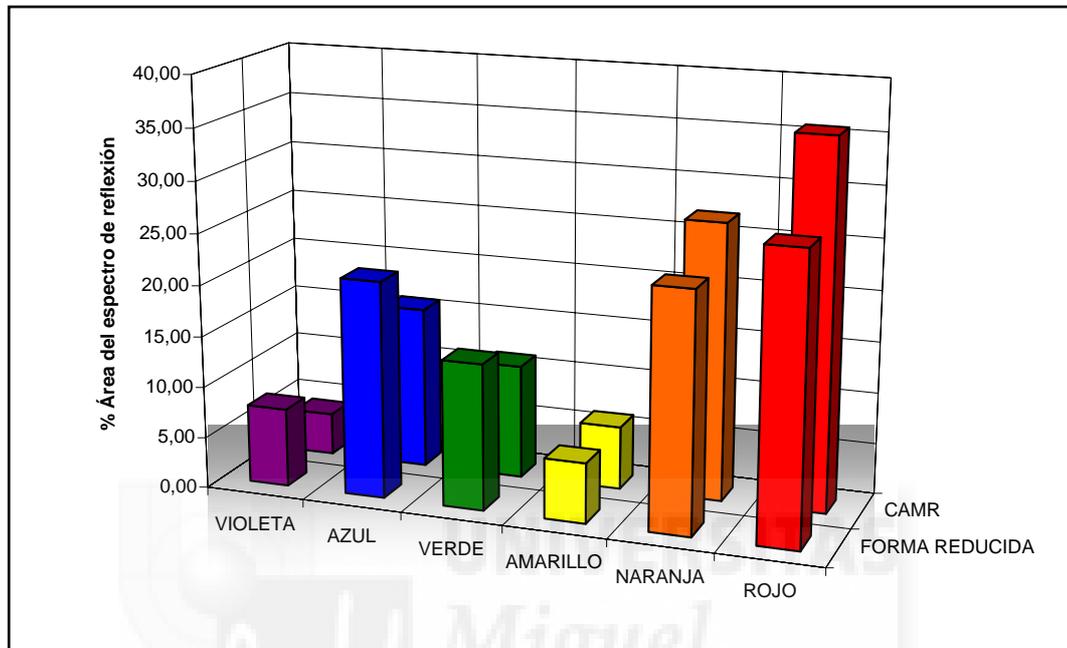
**Tabla 16.** Longitudes de onda correspondientes a los puntos isobéuticos entre las formas reducida de la CAMR y del muslo y pechuga de pollo (DMb)

| LONGITUD DE ONDA (nm) | TIPO DE CARNE |         |       |
|-----------------------|---------------|---------|-------|
|                       | CAMR          | PECHUGA | MUSLO |
| 370                   | X             |         | X     |
| 380                   | X             | X       |       |
| 410                   |               | X       | X     |
| 420                   |               | X       | X     |
| 430                   | X             |         | X     |
| 440                   | X             | X       | X     |
| 450                   |               | X       | X     |
| 460                   |               | X       | X     |
| 470                   |               | X       | X     |
| 480                   |               | X       | X     |
| 490                   |               | X       | X     |
| 510                   |               | X       | X     |
| 520                   |               | X       | X     |
| 530                   |               | X       | X     |
| 540                   |               | X       | X     |
| 550                   |               | X       | X     |
| 560                   |               | X       | X     |
| 570                   |               | X       | X     |
| 580                   |               | X       | X     |
| 590                   |               | X       | X     |
| 600                   |               | X       | X     |
| 610                   |               | X       | X     |

X:  $P > 0,05$

En la figura 19 se observa el porcentaje que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) represen-

ta respecto del área total del espectro de reflexión de la CAMR. En ella se puede apreciar que los mayores componentes de color que aporta esta carne son el naranja y el rojo, al igual que en la forma oxigenada.



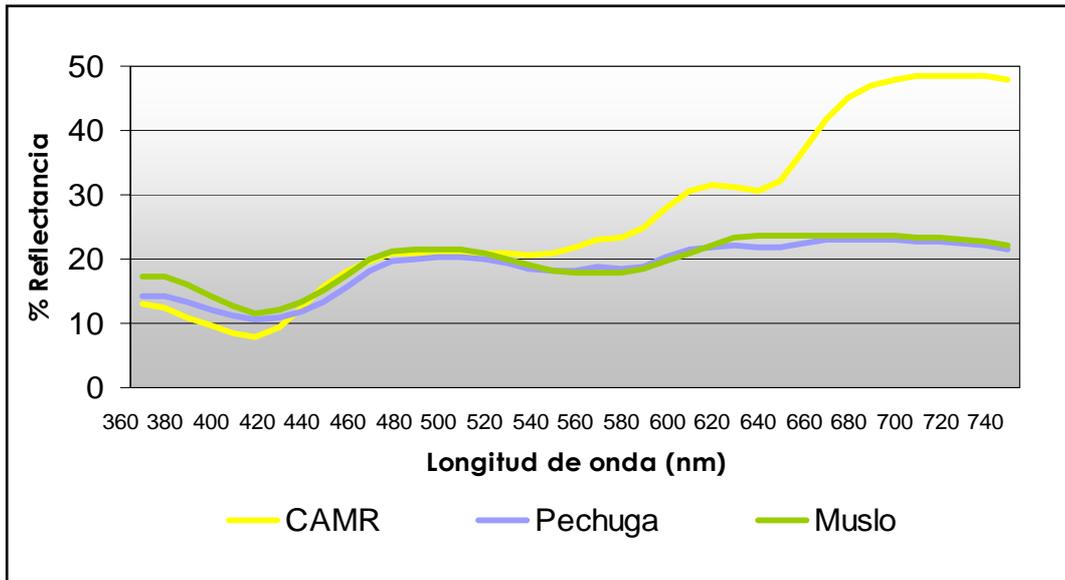
**Figura 19.** Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro de la CAMR

Al analizar estadísticamente los porcentajes que cada uno de los colores básicos representa respecto del área total del espectro se observó que se presentaron diferencias significativas entre todos los niveles estudiados para cada color básico (Figura 19). Las diferencias son más pronunciadas en las longitudes de onda comprendidas en el área de los rojos y naranjas, así como en el violeta y azul, probablemente esté relacionada con las características de color púrpura que presenta la carne en estado reducido (ejemplo, carnes envasadas a vacío). El estado reducido de la CAMR disminuye las áreas rojo y naranja e incrementa las áreas violetas y azul, no modificando el área del amarillo y del verde. No obstante, destacan todavía las áreas de los rojos y naranjas en proporción al resto.

#### 4.1.3.3.2.4. Espectros de reflexión de la forma oxidada de los hemopigmentos en la CAMR y la metamioglobina de pechuga y muslo de pollo

En la tabla 17 se muestran los resultados del ANOVA realizados para determinar entre que longitudes de ondas se encontraban diferencias significativas entre los tres niveles del factor (CAMR, pechuga y muslo de pollo). En todas las longitudes de onda del espectro de reflexión analizado, se presentaron diferencias significativas entre la pechuga y la CAMR, con lo cual se podría decir que, espectralmente, no existen similitudes o zonas del espectro homólogas entre estos dos tipos de carne. En cuanto al muslo y la CAMR, únicamente no presentaron diferencias significativas entre el rango de longitudes de onda de 440 a 510 nm. El análisis no detectó diferencias significativas para el muslo y la pechuga de pollo entre las longitudes de onda comprendidas entre 530-610 nm, ni entre 670-690 nm, ni tampoco entre 720-730 nm.

En la figura 20 se representan los espectros de reflexión (360-740 nm) de la forma oxidada de los hemopigmentos en la CAMR y la metamioglobina de pechuga y muslo de pollo.



**Figura 20.** Espectros de reflexión (360-740 nm) de la forma oxidada en la CAMR y la metamioglobina en pechuga y muslo de pollo

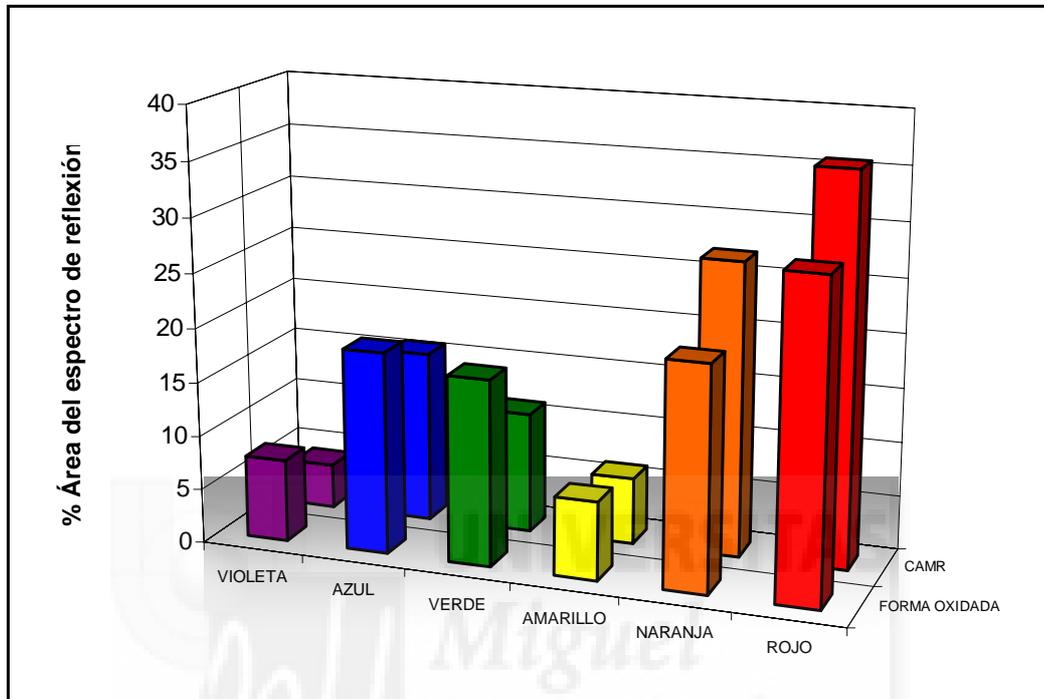


**Tabla 17.** Longitudes de onda correspondientes a los puntos isobéuticos entre las formas oxidada de la CAMR y del muslo y pechuga de pollo (MMb)

| LONGITUD DE ONDA (nm) | TIPO DE CARNE |         |       |
|-----------------------|---------------|---------|-------|
|                       | CAMR          | PECHUGA | MUSLO |
| 440                   | X             |         | X     |
| 450                   | X             |         | X     |
| 460                   | X             |         | X     |
| 470                   | X             |         | X     |
| 480                   | X             |         | X     |
| 490                   | X             |         | X     |
| 500                   | X             |         | X     |
| 510                   | X             |         | X     |
| 530                   |               | X       | X     |
| 540                   |               | X       | X     |
| 550                   |               | X       | X     |
| 560                   |               | X       | X     |
| 570                   |               | X       | X     |
| 580                   |               | X       | X     |
| 590                   |               | X       | X     |
| 600                   |               | X       | X     |
| 610                   |               | X       | X     |
| 670                   |               | X       | X     |
| 680                   |               | X       | X     |
| 690                   |               | X       | X     |
| 720                   |               | X       | X     |
| 730                   |               | X       | X     |

X:  $P > 0,05$

En la figura 21 se observa el porcentaje que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa respecto del área total del espectro de reflexión de la CAMR. En ella se puede apreciar que los mayores componentes de color que aporta esta carne son el naranja y el rojo.



**Figura 21.** Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro de la CAMR

Al analizar estadísticamente los porcentajes que cada uno de los colores básicos representa respecto del área total del espectro se observó que se presentaron diferencias significativas entre todos los niveles estudiados para cada color básico (Figura 21). La oxidación de la CAMR únicamente incrementa el área del violeta y del verde, mientras que disminuye el área de los rojos y naranjas, no modificando el área de los amarillos y azules.

## 4.2. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE LAVADO

### 4.2.1. Selección del tiempo de lavado y número de lavados

4.2.1.1. Caracterización química de la CAMR después del proceso de lavado

Para poner a punto las técnicas de lavado, se ensayaron distintos tiempos de lavado (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 y 90 min) y una serie de seis lavados consecutivos, como se detalla en el epígrafe de materiales y métodos (apartado 3.1.2.1.).

En la tabla 18 se expresan las medias y las desviaciones estándar de los valores de la composición química de la CAMR antes y después de la serie de seis lavados (90 min).

**Tabla 18.** Valores medios del contenido en grasa, humedad, cenizas y proteínas de la CAMR antes y después del proceso de lavado

|               | SIN LAVAR    | LAVADA       |
|---------------|--------------|--------------|
| GRASA (%)     | 16,00 ± 0,33 | 4,11 ± 0,27  |
| HUMEDAD (%)   | 63,11 ± 0,40 | 79,77 ± 1,20 |
| CENIZAS (%)   | 1,07 ± 0,10  | 0,80 ± 0,16  |
| PROTEÍNAS (%) | 16,16 ± 0,23 | 12,23 ± 0,32 |

\*Resultados expresados en % (kg/100 kg de materia húmeda)

El porcentaje de grasa disminuye en un 75% en el proceso de lavado por su carácter hidrófobo, al quedarse adherida a las paredes del baño de agua o en el filtrado de la carne. En un estudio llevado a cabo por Wimmer *et al.*, (1993) el porcentaje de grasa se veía reducido hasta un 90% tras el lavado de carne de cerdo mecánicamente

recuperada. En el caso de *surimi* de sardina, la reducción en el contenido en grasa fue de un 85% (Cortés-Ruiz *et al.*, 2001). En la carne lavada permanece un 75% de las cenizas que contenía la materia prima, cumpliendo la reglamentación en cuanto a contenido máximo de cenizas. Y la concentración de proteínas disminuye, como cabría esperar, porque las proteínas sarcoplásmicas (mioglobina/hemoglobina, entre otras) se eliminan en el lavado, disminuyendo así el contenido total de proteínas de la CAMR. Existe un producto tipo *surimi*, elaborado con carne de pollo (Kee y Babji, 1991) (no CAMR) denominado *ayami* (Salam y Gna, 1994; McIvor *et al.*, 2002) donde la carne es picada y luego lavada 3 veces. En el estudio de Kee y Babji (1991) señalan que en el caso del procesamiento del *ayami*, durante el lavado (3 ciclos) el contenido de proteínas, grasa y cenizas disminuyeron, mientras que la humedad se incrementó, al igual que en el presente trabajo. Cabe mencionar que en este producto la carne utilizada no procede de procesos de recuperación mecánica. Además, no se indica el tamaño de partícula obtenida por el proceso de picado a la que se somete este tipo de carne, con lo cual los rendimientos en los procesos extractivos de los distintos componentes pueden variar de forma importante.

#### 4.2.1.2. Variación del contenido en proteínas del agua de lavado

En la tabla 19 se representan los valores obtenidos del Análisis de la Varianza (ANOVA) para la variable proteínas. En ella se puede apreciar que únicamente el factor lavado resultó significativo.

**Tabla 19.** Resultado del ANOVA para la variable proteínas en el proceso de lavado de la CAMR

| FACTORES          | SUMA DE CUADRADOS | GRADO DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F     | P      |
|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|-------|--------|
| Lavado (L)        | 8950,750          | 5                 | 1790,150       | 30,69 | 0,0000 |
| Tiempo (T)        | 331,463           | 8                 | 41,433         | 0,71  | 0,6819 |
| Interacción (L*T) | 751,816           | 40                | 18,795         | 0,32  | 0,9999 |
| Residual          | 6299,750          | 108               | 58,331         |       |        |
| Total corregido   | 16333,800         | 161               |                |       |        |

Al resultar significativo el factor lavado se procedió a realizar el test de Tukey para conocer entre qué lavados se presentaban diferencias significativas. Este test señaló que no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los lavados 3 al 6. Presentándose diferencias entre estos lavados y los lavados 1 y 2.

En la tabla 20 se muestran los valores medios de los resultados obtenidos para la variable proteínas (con respecto al tiempo) durante el proceso de lavado realizado a la CAMR. Y en la tabla 21 se muestran las medias de los resultados obtenidos para la variable proteínas (con respecto al número de lavados) durante el proceso de lavado realizado a la CAMR.

**Tabla 20.** Valores medios de la concentración de proteínas del agua de lavado (g/L), con respecto al tiempo de lavados (min)

| TIEMPO (min)    | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| PROTEÍNAS (g/L) | 5,29 | 6,55 | 6,86 | 7,80 | 8,24 | 8,68 | 9,13 | 9,00 | 9,76 |

La concentración de proteínas en el agua de lavado va aumentando desde el inicio del lavado de la CAMR, puesto que se trata de agua destilada, hasta 9,76 g/L al finalizar el lavado de noventa minutos (tabla 20).

La mayor solubilización de proteínas sarcoplásmicas (mioglobina y hemoglobina, principalmente) se produce en los 10 primeros minutos de lavado, puesto que en tan corto intervalo de tiempo se solubilizan 5,29 g/L de proteínas; frente a 4,47 g/L que se solubilizan en los siguientes 80 minutos.

Entre los minutos 10 y 20 de lavado se produce la siguiente mayor solubilización, de 1,26 g de proteína /L de agua de lavado. Y, a partir del minuto 20, las solubilizaciones por cada diez minutos de lavado son inferiores a este valor.

**Tabla 21.** Valores medios de la concentración de proteínas del agua de lavado (g/L), con respecto al número de lavados

| Nº LAVADOS      | 1       | 2       | 3      | 4      | 5      | 6      |
|-----------------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| PROTEÍNAS (g/L) | 20,96 a | 14,08 b | 2,41 c | 2,12 c | 1,61 c | 0,85 c |

a-c: letras diferentes denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

Se puede observar que son los dos primeros lavados los responsables de la solubilización de la mayoría de las proteínas sarcoplásmicas de la CAMR en el agua de lavado. Por lo tanto, no tendría sentido seguir lavando la CAMR a partir de este punto, si la finalidad del lavado fuese únicamente eliminar proteínas sarcoplásmicas.

Pero el objetivo del lavado es eliminar el máximo contenido de hemopigmentos. Por ello, a pesar de que a partir del segundo lavado ya no se solubilizan en gran cantidad las proteínas responsables

del color de la carne, resulta factible seguir lavando la carne, porque sigue descendiendo el valor de la coordenada rojo-verde como se puede apreciar en la tabla 26.

Rivera *et al.* (2000a), mencionan que la cuantificación de las distintas fracciones proteicas en la CAMR, difiere ya que esta carne puede tener diferentes orígenes: cuellos, rabadillas, caparazones etc., dificultando la interpretación de los resultados a la hora de comparar con la literatura científica.

#### 4.2.1.3. pH de la CAMR después del proceso de lavado

En la tabla 22 se representan los valores obtenidos del Análisis de la Varianza para la variable pH en el proceso de lavado de la CAMR.

**Tabla 22.** Resultado del ANOVA para la variable pH en el proceso de lavado de la CAMR

| FACTOR          | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F    | P      |
|-----------------|-------------------|--------------------|----------------|------|--------|
| Lavado          | 0,2759            | 5                  | 0,0552         | 1,31 | 0,2697 |
| Residual        | 2,7323            | 65                 | 0,0420         |      |        |
| Total corregido | 3,2306            | 118                |                |      |        |

En la tabla 23 se muestran los resultados del test de Tukey obtenidos para la variable pH durante el proceso de lavado realizado a la CAMR.

**Tabla 23.** Valores medios de pH de la CAMR durante el proceso de lavado

| Nº LAVADOS | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| pH         | 6,94 a | 6,94 a | 6,96 a | 6,97 a | 6,95 a | 6,93 a |

a: letras diferentes denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

Wimmer *et al.* (1993) determinaron el pH de productos tipo *suri-mi* de carne de cerdo lavada solo con agua y obtuvieron valores de  $6,81 \pm 0,19$ . En trabajos realizados sobre el efecto de la incorporación de agua a la carne y pastas de embutidos (García-Marcos *et al.*, 1996; Coll, 1997; Fernández-López, 1998) se observó que el valor de este parámetro físico-químico no se modificó. En otros estudios realizados sobre el efecto del lavado en músculo de sardina, se apreció que los valores del pH se incrementaron (Barrero y Bello, 2000), aspecto que estaría relacionado con lo descrito por Carvajal y Lanier (1996) sobre las diferencias en el comportamiento entre la carne y el pescado. Además, habría que tener en cuenta también lo descrito por Ramírez-Suárez *et al.* (2000) sobre las diferencias de composición de la carne de pescado a lo largo de su ciclo biológico.

#### 4.2.1.4. Comportamiento de los parámetros de color de la CAMR durante la etapa de lavado

En la tabla 24 se representan los valores obtenidos del Análisis de la Varianza para los parámetros de color (coordenada luminosidad, coordenada rojo-verde, coordenada amarillo-azul, magnitud psicofísica croma, magnitud psicofísica tono e índice de rojez) en el proceso de lavado con agua de la CAMR.

En el caso del procesamiento del *ayami*, el lavado redujo el contenido de proteínas sarcoplásmicas pero incrementó las proteínas extractables en soluciones salinas, el pH y la CRA. La carne así obteni-

da, fue más luminosa, más roja, pero con menos aporte de componentes amarillos que el *surimi* comercial. El aumento de la relación de proteínas halosolubles y sarcoplásmicas durante el procesamiento produce unos geles muy suaves (Salam y Gna, 1994; McIvor *et al.*, 2002).

**Tabla 24.** Resultado del ANOVA para los parámetros de color en el proceso de lavado con agua de la CAMR

| FACTOR | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F     | P      |
|--------|-------------------|--------------------|----------------|-------|--------|
| L*     | 182,176           | 5                  | 36,435         | 4,12  | 0,0017 |
| a*     | 686,192           | 5                  | 137,238        | 28,06 | 0,0000 |
| b*     | 149,094           | 5                  | 29,819         | 9,47  | 0,0000 |
| C*     | 571,430           | 5                  | 114,286        | 25,95 | 0,0000 |
| H*     | 10821,300         | 5                  | 2164,250       | 21,60 | 0,0000 |
| a*/b*  | 6,229             | 5                  | 1,246          | 8,98  | 0,0000 |

#### 4.2.1.4.1. Luminosidad (L\*)

En la tabla 24 se representan los valores obtenidos del Análisis de la Varianza para la coordenada luminosidad (L\*), en el proceso de lavado con agua de la CAMR.

En la tabla 25 se muestran los valores medios del test de Tukey para la coordenada luminosidad (L\*) durante el proceso de lavado realizado a la CAMR.

Al resultar significativo el factor lavado, se procedió a realizar el test de Tukey para conocer entre que lavados se presentaban diferencias significativas. Este test señaló que no se presentaron diferen-

cias significativas ( $P>0,05$ ) entre los lavados 2 y 3, ni tampoco entre los lavados 4 y 5, aunque si se presentaron entre estos dos bloques y el resto, así como entre la carne lavada y sin lavar. Se puede apreciar que el proceso de lavado incrementó los valores de esta coordenada en la CAMR.

**Tabla 25.** Valores medios de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ) de la CAMR después del proceso de lavado

| Nº LAVADOS | 0       | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $L^*$      | 43,42 a | 50,68 b | 51,75 c | 52,37 c | 53,57 d | 54,88 d | 57,01 e |

a-e: letras diferentes denotan diferencias significativas ( $P<0,05$ )

La luminosidad en la carne y en los productos cárnicos depende de varios factores: pH (Hunt *et al.*, 1991), concentración y estado de la hemopigmentos (mioglobina/hemoglobina) (Palombo *et al.*, 1990; Johansson *et al.*, 1991; Fernández-López *et al.*, 2000; Onyango *et al.*, 1998); integridad de la estructura muscular (Albert, 1997; Cartagena, 1997; Fernández-Ginés, 1998; Fernández-López, 1998; Pérez-Lozano, 1998); capacidad de retención de agua (Hunt *et al.*, 1991, Kauffman *et al.*, 1991; Fernández-López, 1998); contenido de humedad y agua libre en la superficie del producto (Hunt *et al.*, 1991; Campo *et al.*, 1991; Gago-Gago *et al.*, 1992; Pagán-Moreno *et al.*, 1992; Cervera-Pérez, 1995; Pérez-Álvarez, 1996; Perlo, 1997; Reppond y Babbit, 1997; Barceló, 1998); movimientos de agua dentro de la estructura muscular (Sayas, 1997) y contenido de grasa (Cartagena, 1997; Barceló, 1998; Fernández-Ginés, 1998).

En el estudio realizado por Fernández-Ginés (1998) se menciona que el incremento en el contenido de grasa en las pastas de carne lleva asociado un incremento de la luminosidad. En este trabajo este factor no parece tener influencia debido a que durante el proceso de lavado se reduce la cantidad de grasa presente en la CAMR (apar-

tado 4. 2. 1. 1) y sin embargo, la luminosidad aumenta con el número de lavados.

Con respecto al efecto del pH sobre la luminosidad, se ha observado que cuando existe un descenso en los valores de este parámetro se incrementa el valor de esta coordenada (Tajahuerce *et al.*, 1994; García-Marcos, *et al.*, 1996; Márquez, 1996; Rosmini, 1997; Fernández-López, 1998). En la carne, el incremento en los valores de pH produce un descenso en los valores de luminosidad. Este fenómeno se debe a que la luz penetra en el interior del músculo alterando las propiedades ópticas (reflexión) (Swatland, 1995). Como el pH no se vió modificado por el proceso de lavado, no parece tener influencia sobre la luminosidad de la CAMR.

Con respecto a la concentración de mioglobina/hemoglobina se ha observado que un incremento en la concentración de estos hemopigmentos produce un descenso en el valor de la luminosidad. Este fenómeno se debe a que estos pigmentos "musculares" absorben la luz incidente, reduciendo su reflexión (Swatland, 1995). De la misma manera el descenso de la concentración de ambos produce un incremento de la luminosidad. Durante los lavados, lo que ocurriría es que las proteínas sarcoplasmáticas, principalmente las cromoproteínas, de la carne pasarían a diluirse en el agua de lavado, disminuyendo su concentración en la carne (Bowie *et al.*, 1989). Con lo cual, sería este factor, la disminución de la concentración de proteínas sarcoplasmáticas, la que originaría el aumento de la luminosidad tras los lavados. También se debe tener en cuenta que, al incrementarse el contenido en humedad, la disponibilidad de agua en superficie aumenta y, de acuerdo a los resultados expresados por Hunt y Kropf (1985), se produce una mayor reflexión de la luz y, por ende, una mayor luminosidad. Estos factores (incremento de la humedad del producto y disminución del contenido en hemoproteínas) serían, en con-

junto, los responsables del incremento de la luminosidad ( $L^*$ ).

#### 4.2.1.4.2. Coordenada rojo-verde ( $a^*$ )

En la tabla 24 se representan los valores obtenidos del Análisis de la Varianza para la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), en el proceso de lavado con agua de la CAMR, mientras que, en la tabla 26, se muestran los valores medios del test de Tukey para la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) durante el proceso de lavado realizado a la CAMR.

**Tabla 26.** Valores medios de la coordenada rojo/verde ( $a^*$ ) de la CAMR después del proceso de lavado

| Nº LAVADOS | 0       | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
|------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $a^*$      | 18,79 a | 9,51 b | 5,16 c | 5,45 c | 4,35 c | 4,50 c | 4,10 c |

a-d: letras diferentes denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

Al resultar significativo el factor lavado se procedió a realizar el test de Tukey para conocer entre que lavados se presentaban diferencias significativas. Este test señaló que no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los lavados 2, 3, 4 y 5 y si entre éstos y el lavado 6. Sin embargo, sí existieron diferencias significativas entre estos dos bloques de lavados y el control (lavado 0) y el lavado 1.

Según varios autores, el valor de esta coordenada depende de: concentración y estado de los hemopigmentos (mioglobina/hemoglobina) (Johansson *et al.*, 1991; Cartagena, 1997; Varnam y Sutherland, 1998; Barceló, 1998; Fernández-López, 1998; Onyango *et al.*, 1998); del valor del pH (Hunt *et al.*, 1991; Cartagena, 1997; Rosmini, 1997); capacidad de retención de agua (Hunt *et al.*, 1991; Pérez-Lozano, 1997); concentración de grasa (Fernández-Ginés, 1998); contenido de humedad (Barceló, 1998) y contenido de sal (Rosmini, 1997; Fernández-López, 1998).

Con respecto a la influencia de la concentración de grasa, Fernández-Ginés (1998) menciona que un incremento en el contenido de grasa, en pastas de carne, reduce los valores de la coordenada rojo/verde. Como durante el proceso de lavado se redujo la concentración de grasa (tabla 18), cabría esperar que el valor de esta coordenada se incrementase, comportamiento inverso al obtenido en este trabajo, por lo que este componente de la CAMR no podría ser responsable del valor obtenido de  $a^*$  después del lavado.

El pH ejerce una influencia destacada sobre esta coordenada debido básicamente a las "alteraciones" que produciría sobre la estructura de la mioglobina. El descenso en los valores de pH provoca una desnaturalización parcial o total en la estructura terciaria de la mioglobina, incrementando con ello la reflexión de la luz, la cual ocasiona un descenso en esta coordenada (Varnam y Sutherland, 1997; Fernández-López, 1998). El efecto inverso ocurre cuando se incrementa el valor de pH (Swatland, 1995).

Al analizar el efecto del pH sobre el lavado de la CAMR se puede apreciar que este factor, al no verse modificado durante el proceso de lavado, no sería el factor causante del descenso en los valores de esta coordenada.

La hemoglobina y la mioglobina presente en la CAMR se encontrarían mayoritariamente de forma "libre" debido al proceso de obtención de este tipo de carne en el cual, hay una ruptura tanto de la integridad muscular como de la ósea, ya que, en la médula, se encuentran las células precursoras de los glóbulos rojos, ricos en hemoglobina (Froning, 1995). Estos hemopigmentos como se mencionó anteriormente, son solubles en agua. Varios autores señalan que, en la carne y en productos cárnicos, la coordenada  $a^*$  se comporta como

una solución, diluyéndose (reduce su valor) al incrementarse el contenido de agua y/o grasa que actúan como agentes “diluyentes” (Pérez-Álvarez, 1996 y Fernández-López, 1998; Pérez-Álvarez y Fernández-López, 2001). En este trabajo, se observa el descenso en los valores de esta coordenada, los cuales podrían deberse a la “dilución” de la componente roja (concentración de mioglobina y hemoglobina), al disolverse estos componentes en el agua de lavado.

#### 4.2.1.4.3. Coordenada amarillo-azul (b\*)

En la tabla 24 se representan los valores obtenidos del Análisis de la Varianza para la coordenada amarillo-azul (b\*), en el proceso de lavado con agua de la CAMR, mientras que, en la tabla 27 se muestran los valores medios del test de Tukey para la coordenada amarillo-azul (b\*) durante el proceso de lavado realizado a la CAMR.

**Tabla 27.** Valores medios de la coordenada amarillo-azul. (b\*) de la CAMR después del proceso de lavado

| Nº LAVADOS | 0       | 1       | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
|------------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| b*         | 13,68 a | 10,68 b | 8,04 c | 8,06 c | 8,27 c | 8,93 c | 8,92 c |

a-c: letras diferentes denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

Al resultar significativo el factor lavado se procedió a realizar el test de Tukey para conocer entre qué lavados se presentaban diferencias significativas. Este test señaló que no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los lavados 2, 3, 4, 5 y 6. Presentándose diferencias entre éstos lavados y el resto.

Recientemente se ha descrito la relación de esta coordenada con la ternura de la carne (Pérez-Álvarez *et al.*, 1998; Picallo *et al.*, 2000; Pérez-Álvarez y Fernández-López, 2001) así como con distintos parámetros estructurales, todos ellos relacionados con la estructura o

matriz de la carne o del producto cárnico (Alesón, 2002; Fernández-Ginés *et al.*, 2004). No obstante, tradicionalmente se ha asociado el valor de esta coordenada a otros factores: estado de los hemopigmentos (mioglobina/hemoglobina) (Johansson *et al.*, 1991; Fernández-López, 1998); pH de la carne (Hunt *et al.*, 1991; Cartagena, 1997; Fernández-López, 1998); concentración salina (Coll, 1997; Fernández-López, 1998); contenido (Fernández-Ginés, 1998); y estado de la grasa (Gago-Gago, *et al.*, 1992; Pagán-Moreno *et al.*, 1992, García-Rosado, 1998).

El contenido en hemopigmentos en carnes magras y grasas según el trabajo de Cartagena (1997) no es un factor determinante para el valor de esta coordenada. Esto podría ser, en parte, corroborado por el hecho de que tras el primer lavado el valor de esta coordenada no presentó diferencias significativas. En este caso, la matriz muscular del producto sería similar en todos los lavados, ya que ni siquiera el pH (que puede contribuir al cambio en el volumen de la matriz) se ve modificado, con lo que no tendría lugar ninguna modificación estructural debido a este factor. Las modificaciones en el valor de esta coordenada, durante el primer lavado, se deberían tanto al efecto del agua sobre la estructura de la matriz proteica (hinchamiento) como a la pérdida de hemopigmentos y a la modificación del estado de los pigmentos residuales en el producto. Esto se relacionaría con que los valores de la coordenada  $b^*$  para pechuga y muslo de pollo son mucho más bajos que los obtenidos tras el lavado. El efecto de la incorporación de agua, sobre esta coordenada, en pastas (groseras y finas) de carne incrementa el valor de  $b^*$  (Fernández-López, 1998). Mientras que en el caso de la coordenada  $a^*$  (como se mencionó anteriormente esta coordenada es función directa del contenido de hemopigmentos), tras los lavados, sus valores continuaron disminuyendo.

El pH en la carne influye de forma muy importante ya que no solo altera la estructura terciaria/cuaternaria de la Mb sino que, además, en función del pH se favorece la formación de los diferentes estados de los hemopigmentos. En el caso particular de la mioglobina, cuando ésta se encuentra en un ambiente "ácido", se favorece la formación de la oximioglobina (OMb) (Varnam y Sutherland, 1998). En el apartado 4.1.3.3.1. sobre el comportamiento de las coordenadas de color en los diferentes estados de los hemopigmentos puros se señaló que en la oxigenación y la oxidación se incrementaron los valores de  $b^*$ .

Al no resultar significativo el efecto del lavado sobre el pH, este factor podría ser descartado como el causante del comportamiento observado para la coordenada  $b^*$ . Analizando los resultados desde el punto de vista del estado de los hemopigmentos (oxigenado, oxidado y reducido) otros factores que podrían estar influenciando el valor de esta coordenada podrían ser: la tensión de oxígeno y la presencia de "minerales" de los huesos (que favorezcan la oxidación de la Mb, Hb etc). Sin embargo, todos estos factores, como se mencionó anteriormente, favorecerían el incremento del valor de esta coordenada, efecto que no se aprecia en este trabajo.

#### 4.2.1.4.4. Magnitud psicofísica croma ( $C^*$ )

En la tabla 24 se representan los valores obtenidos del Análisis de la Varianza para la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), en el proceso de lavado con agua de la CAMR, mientras que, en la tabla 28 se muestran los valores medios del test de Tukey para la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ) durante el proceso de lavado realizado a la CAMR.

**Tabla 28.** Valores medios de la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ) de la CAMR después del proceso de lavado)

| Nº LAVADOS | 0       | 1       | 2      | 3      | 4      | 5       | 6      |
|------------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|
| $C^*$      | 23,24 a | 14,30 b | 9,55 c | 9,73 c | 9,34 c | 10,00 c | 9,82 c |

a-c: letras diferentes denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

Al resultar significativo el factor lavado se procedió a realizar el test de Tukey para conocer entre qué lavados se presentaban diferencias significativas. Este test señaló que no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los lavados 2 al 6. Presentándose únicamente diferencias entre estos lavados y el lavado 1 y la CAMR sin lavar (control).

El croma de la carne y de los productos cárnicos depende de varios factores: concentración y estado de hemopigmentos (mioglobina/hemoglobina) (Pérez-Álvarez *et al.*, 1998); del pH (Albert, 1997; Cartagena, 1997; Coll, 1997; Fernández-López, 1998); de la capacidad de retención de agua (Fernández-López, 1998; Pérez-Lozano, 1998); del grado de deshidratación (Barceló, 1998); contenido de grasa (Fernández-Ginés, 1998) y contenido de humedad (Fernández-López, 1998).

El croma es el atributo de la percepción visual humana por el cual un color es más o menos intenso lo cual, desde un punto de vista práctico, está relacionado con la evolución de la coordenada  $a^*$  ( $a^*$  dependiente) o  $b^*$  ( $b^*$  dependiente) o independiente de ambas. De los resultados de este trabajo se podría deducir que el croma de la CAMR lavada es  $b^*$  dependiente, lo que indicaría que este producto modificará la intensidad de color en función de cómo un ingrediente, o un tratamiento tecnológico modifique la coordenada  $b^*$ .

Coll (1997) observó que al disminuir el pH por efecto de la in-

corporación de ácidos, se provoca una disminución del croma de la carne (aumenta la componente gris del color). Al analizar el efecto del pH sobre el lavado de la CAMR se puede apreciar que este factor, al no verse modificado durante el proceso de lavado, no sería el factor causante del descenso en los valores de  $C^*$ . Fernández-Ginés (1998), afirmó que la grasa actúa como un diluyente” de la intensidad del color, si bien, la concentración de grasa disminuyó por efecto del lavado, por lo que este comportamiento sería ajeno al efecto de la grasa.

Un incremento en el contenido de humedad en los productos cárnicos y en carne picada provoca un descenso en los valores de  $C^*$ . Este comportamiento del croma está asociado al denominado “factor de dilución”. El incremento en la concentración de agua en los productos ocasiona que el “contenido de grises” del mismo se incremente (Pérez-Álvarez y Fernández-López, 2001).

En el estudio realizado por Pérez-Álvarez *et al.*, (1998) sobre distintos tipos y cortes de carne, se vió que cuando presentan un alto valor de croma ( $C^*$ ), existe una mayor concentración de hemopigmentos (Mb/Hb) en la carne. De la misma manera, cuando disminuyó la concentración de mioglobina/hemoglobina, disminuyó también el croma de la carne. En el presente estudio el croma disminuye, principalmente en el primer lavado de la CAMR, que sería el lavado en el que mayor cantidad de este tipo de hemoproteínas se solubilizan en el agua de lavado (Tabla 21).

Los valores de croma obtenidos después del proceso de lavado son superiores a los obtenidos en pechuga y muslo de pollo. Esto indicaría que, a pesar del proceso tecnológico del lavado, la intensidad del color del producto es mayor que en estas otras piezas y que indi-

rectamente se retiene una mayor concentración de hemopigmentos que los presentes de forma natural en este tipo de cortes de carne.

#### 4.2.1.4.5. Magnitud psicofísica tono (H\*)

En la tabla 24 se representan los valores obtenidos del Análisis de la Varianza para la magnitud psicofísica tono (H\*), en el proceso de lavado con agua de la CAMR. Y en la tabla 29 se muestran los valores medios del test de Tukey para la magnitud psicofísica tono (H\*) durante el proceso de lavado realizado a la CAMR.

**Tabla 29.** Valores medios de la magnitud psicofísica tono (H\*) de la CAMR después del proceso de lavado

| Nº LAVADOS | 0       | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| H*         | 36,06 a | 48,32 b | 57,31 c | 55,93 c | 62,26 d | 63,26 d | 65,31 d |

a-d: letras diferentes denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

Al resultar significativo el factor lavado se procedió a realizar el test de Tukey para conocer entre qué lavados se presentaban diferencias significativas. Este test señaló que no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los lavados 2 y 3, ni entre los lavados 5 y 6, presentándose únicamente diferencias entre estos lavados y el resto.

La CAMR se encuentra en el rango del tono rojo. Para el lavado 1 los subtonos quedarán comprendidos en el rango de rojo-naranja; los lavados 2 y 3 estarían dentro del naranja-rojizo; el lavado 4 está dentro del rango del naranja y los lavados 5 y 6 en el naranja-amarillento. Estos tonos son inferiores a los obtenidos para pechuga y muslo de pollo (tabla 11) (Instituto Nacional de Racionalización, 1981).

El tono de la carne y de los productos cárnicos depende de varios factores: concentración y estado de los hemopigmentos (Pérez-Álvarez, *et al.*, 1998); del pH (Albert, 1997; Cartagena, 1997; Coll, 1997; Fernández-López, 1998); de la capacidad de retención de agua (Fernández-López, 1998; Pérez-Lozano, 1998); del grado de deshidratación (Barceló, 1998); contenido de grasa (Fernández-Ginés, 1998) y contenido de humedad (Fernández-López, 1998). El descenso en el contenido de proteínas sarcoplásmicas incrementa el tono de la CAMR.

Al analizar el efecto del pH de la carne sobre esta magnitud psicofísica, Fernández-López (1998) describió que al disminuir el pH de la carne, aumentó el tono de ésta. También este comportamiento ha sido observado en la elaboración de embutidos crudo-curados (Rosmini, 1997). Sin embargo, en este trabajo el valor de esta magnitud psicofísica aumentó, mientras que el pH no varió. Por lo tanto el pH podría no ser el responsable del aumento de  $H^*$ .

Fernández-Ginés (1998), observó que al incrementar la concentración de grasa en la carne, aumenta el tono de ésta. Y viceversa, al disminuir la concentración de grasa, disminuye el  $H^*$  de la carne. En este estudio se ve que aumenta el tono a pesar de que disminuye la grasa, por lo que la concentración de grasa no sería la responsable del aumento del tono.

En el estudio realizado por Barceló (1998), sobre el efecto de la deshidratación en el color de la carne, se observó que al disminuir la concentración de agua en la carne, disminuyó el tono de ésta. En el presente trabajo este efecto no se observa, aunque se incrementa el contenido en humedad (tabla 18) aumenta el tono de la CAMR. Por lo cual se puede pensar que la concentración de agua podría ser

responsable del aumento del tono, al diluir, o eliminar, los hemopigmentos.

En el estudio realizado por Fernández-López (1998) sobre el efecto de distintos ingredientes en el color de las pastas se aprecia como la incorporación de agua incrementó los valores del tono. Este autor describe que el incremento en los valores de tono se debería a la “dilución” de los hemopigmentos presentes en el producto, ya que también se ha visto en otros trabajos cómo la pérdida de humedad favorece el descenso de  $H^*$  (factor concentración).

#### 4.2.1.4.6. Índice de rojez ( $a^*/b^*$ )

En la tabla 24 se representan los valores obtenidos del Análisis de la Varianza para la variable índice de rojez ( $a^*/b^*$ ), en el proceso de lavado con agua de la CAMR. Y en la tabla 30 se muestran los valores medios del test de Tukey para la variable índice de rojez ( $a^*/b^*$ ) durante el proceso de lavado realizado a la CAMR.

**Tabla 30.** Valores medios de la variable índice de rojez ( $a^*/b^*$ ) de la CAMR después del proceso de lavado

| Nº LAVADOS | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $a^*/b^*$  | 1,37 d | 0,89 c | 0,64 b | 0,68 b | 0,53 a | 0,50 a | 0,46 a |

a-d: letras diferentes denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

Al resultar significativo el factor lavado se procedió a realizar el test de Tukey para conocer entre que lavados se presentaban diferencias significativas. Este test señaló que no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los lavados 3 y 4; ni entre los lavados 4, 5 y 6. Presentándose diferencias entre estos dos grupos de lavados y el resto.

El índice de rojez ha sido descrito como una herramienta adicional para la determinación de variaciones en el color de los alimentos que no son detectadas por medio de otras coordenadas (Pérez-Álvarez, 1996; Rosmini, 1997). En el caso de la carne y de los productos cárnicos, la rojez depende de varios factores: concentración y estado de los hemopigmentos (mioglobina/hemoglobina) (Pérez-Álvarez *et al.*, 1998); del pH (Fernández-López, 1998); de la capacidad de retención de agua (Fernández-López, 1998) y contenido de humedad (Fernández-López, 1998).

El descenso en los valores del índice de rojez se debería fundamentalmente a la pérdida de hemopigmentos descrito en los apartados anteriores y cómo éstos afectan a la coordenada rojo-verde.

Basándonos en los resultados obtenidos y, bajo el criterio de utilizar las coordenadas de color y la concertación de proteínas solubles en el agua de lavado como herramienta para determinar el tiempo y el número de lavados idóneo, se puede mencionar que el tercer lavado es el más adecuado ya que un mayor tiempo de lavado no favorece el descenso de los valores de la coordenada  $a^*$ , de la coordenada  $b^*$  ni de la intensidad del color. A su vez esto se corrobora por el hecho de que no se extrae una cantidad apreciable de proteínas solubles a partir de este lavado.

#### **4.2.2. Estudio de los aditivos de lavado**

En diversos estudios se ha descrito que determinados aditivos pueden ejercer un efecto importante sobre la calidad higiénica de la carne lavada (Hathcox *et al.*, 1995; Capita *et al.*, 2000), así como de las propiedades funcionales de determinados componentes de la misma, como por ejemplo la extractabilidad de determinados compuestos “indeseables” en los alimentos de origen muscular (Wen *et al.*,

1996). Aditivos como el cloruro de sodio, lactato sódico, ácido láctico o fosfatos, entre otros, son ampliamente utilizados, no solo por sus propiedades tecnológicas, si no porque también son capaces de incrementar, disminuir o quelar, compuestos que pueden generar coloración en este tipo de alimentos (Medynski *et al.*, 2000; Kropf, 2003; Azeredo *et al.*, 2004).

#### 4.2.2.1. Cloruro sódico

##### 4.2.2.1.1. Caracterización química de la CAMR lavada con cloruro sódico

En la tabla 31 se expresan los valores obtenidos del Análisis de la Varianza de las propiedades químicas (cenizas, grasa, humedad y proteínas) de la CAMR, para el factor concentración de aditivo de lavado. En esta tabla, se puede apreciar que el factor estudiado resultó significativo ( $P < 0,01$ ) para las variables cenizas, grasa, proteínas y humedad.

**Tabla 31.** Resultado del Análisis de la Varianza (ANOVA) del contenido en cenizas, grasa, humedad y proteínas de la CAMR para distintas concentraciones de cloruro sódico

| VARIABLES | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F     | P      |
|-----------|-------------------|--------------------|----------------|-------|--------|
| CENIZAS   | 284,647           | 3                  | 94,882         | 34,36 | 0,0000 |
| GRASA     | 288,634           | 3                  | 96,211         | 10,09 | 0,0002 |
| HUMEDAD   | 185,195           | 3                  | 61,733         | 1,91  | 0,0000 |
| PROTEÍNAS | 0,025             | 3                  | 0,008          | 10,14 | 0,0007 |

Al resultar significativo este factor para cada una de las variables, se procedió a aplicar el test de Tukey. En la tabla 32 se expresan

los valores promedio del contenido en proteínas, grasa, humedad y cenizas de la CAMR después del proceso de lavado con distintas concentraciones de cloruro sódico.

**Tabla 32.** Valores medios del contenido en proteínas, grasa, humedad y cenizas de la CAMR después del proceso de lavado con distintas concentraciones de cloruro sódico

| NaCl (%) | PROTEÍNAS (%) | GRASA (%) | HUMEDAD (%) | CENIZAS (%) |
|----------|---------------|-----------|-------------|-------------|
| CONTROL  | 16,16 b       | 16,00 b   | 66,11 a     | 1,07 b      |
| 0,5      | 12,67 a       | 8,41 a    | 75,88 b     | 0,92 a      |
| 1        | 12,91 a       | 8,03 a    | 75,43 b     | 1,11 b      |
| 1,5      | 13,06 a       | 8,62 a    | 73,22 b     | 0,93 a      |

a-b: Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores medios; % ( kg/100 kg de materia húmeda)

Al analizar el factor concentración de aditivo de lavado, el test de Tukey señaló que no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en el contenido en proteínas de las muestras lavadas con NaCl al 0,5%, al 1% y al 1,5%. Únicamente presentó diferencias significativas el contenido en proteínas de las muestras lavadas con NaCl y la muestra control (Tabla 32).

La reducción del contenido en grasa de la CAMR (tabla 32) lavada con distintas concentraciones de NaCl, podría ser debida a las diferencias de polaridad y densidad entre la grasa y las soluciones acuosas. Además, hay que considerar que gran parte de la grasa de la CAMR se elimina con el agua de lavado, pudiendo deberse este efecto a un proceso físico estrictamente más que a una interacción con los componentes de CAMR, como ya se indicó en el apartado 4.2.1.1.

#### 4.2.2.1.2. Caracterización físico-química de la CAMR lavada con NaCl

En la tabla 33 se expresan los valores obtenidos del Análisis de la Varianza de las variables físico-químicas pH, coordenadas de color y magnitudes psicofísicas e índice de rojez de la CAMR para el factor concentración de aditivo de lavado y el factor número de lavado. En esta tabla, se puede apreciar que ambos factores resultaron significativos ( $P < 0,01$ ) para todas las variables consideradas.

Al resultar significativos estos factores para cada una de las variables, se procedió a aplicar el test de Tukey. En la tabla 34 se expresan los valores promedio de cada lavado para las coordenadas luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), índice de rojez y pH de la CAMR tras cada lavado y para las concentraciones de aditivo de lavado estudiadas.

**Tabla 33.** Resultado del Análisis de la Varianza (ANOVA) de las variables físico-químicas pH, coordenadas de color y magnitudes psicofísicas e índice de rojez de la CAMR para los factores concentración de aditivo de lavado y número de lavados

| Variables | FACTORES         | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F      | P      |
|-----------|------------------|-------------------|--------------------|----------------|--------|--------|
| pH        | Conc. de aditivo | 3,033             | 3                  | 1,011          | 64,88  | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 2,434             | 6                  | 0,406          | 26,03  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 2,604             | 18                 | 0,145          | 9,28   | 0,0000 |
| L*        | Conc. de aditivo | 2050,240          | 3                  | 683,414        | 57,10  | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 6286,230          | 6                  | 1047,710       | 87,53  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 912,126           | 18                 | 50,674         | 4,23   | 0,0000 |
| a*        | Conc. de aditivo | 1165,750          | 3                  | 388,584        | 48,52  | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 6328,250          | 6                  | 1054,710       | 131,71 | 0,0000 |
|           | Interacción      | 721,146           | 18                 | 40,064         | 5,00   | 0,0000 |
| b*        | Conc. de aditivo | 66,853            | 3                  | 22,284         | 11,09  | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 623,252           | 6                  | 103,875        | 51,67  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 74,349            | 18                 | 4,131          | 2,05   | 0,0095 |
| C*        | Conc. de aditivo | 561,828           | 3                  | 187,276        | 25,67  | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 5138,860          | 6                  | 856,477        | 117,39 | 0,0000 |
|           | Interacción      | 401,871           | 18                 | 22,326         | 3,06   | 0,0001 |
| H*        | Conc. de aditivo | 16762,100         | 3                  | 5587,370       | 14,22  | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 15846,400         | 6                  | 2641,060       | 6,72   | 0,0000 |
|           | Interacción      | 16006,800         | 18                 | 889,267        | 2,26   | 0,0037 |
| a*/b*     | Conc. de aditivo | 9,738             | 3                  | 3,246          | 53,05  | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 23,685            | 6                  | 3,948          | 64,51  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 5,880             | 18                 | 0,327          | 5,34   | 0,0000 |

**Tabla 34.** Valores medios de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), índice de rojez y pH de la CAMR para los factores número de lavados y concentración de cloruro sódico

|        |         | $L^*$   | $a^*$   | $b^*$    | $H^*$    | $C^*$   | $a^*/b^*$ | pH     |
|--------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|-----------|--------|
| NaCl   | CONTROL | 51,03 a | 12,02 c | 10,82 c  | 41,99 a  | 16,17 c | 1,11 d    | 6,66 a |
|        | 0,5%    | 53,83 b | 8,54 b  | 9,93 ab  | 49,28 b  | 13,10 b | 0,86 c    | 6,88 b |
|        | 1,0%    | 58,98 c | 6,32 a  | 10,19 bc | 58,20 d  | 11,99 a | 0,62 a    | 6,95 c |
|        | 1,5%    | 54,42 b | 6,82 a  | 9,38 a   | 52,04 c  | 11,90 a | 0,78 b    | 6,90 b |
| Lavado | CONTROL | 43,98 a | 19,78 e | 13,58 c  | 34,46 a  | 23,99 c | 1,46 d    | 6,70 a |
|        | 1       | 51,68 b | 11,03 d | 11,02 b  | 44,98 ab | 15,59 b | 1,00 c    | 6,71 a |
|        | 2       | 55,48 c | 7,36 c  | 9,61 a   | 52,54 bc | 12,10 a | 0,77 b    | 6,82 b |
|        | 3       | 57,00 c | 6,37 bc | 9,17 a   | 55,20 bc | 11,17 a | 0,69 b    | 6,88 b |
|        | 4       | 55,67 c | 5,88 bc | 8,91 a   | 56,56 bc | 10,67 a | 0,66 b    | 6,93 c |
|        | 5       | 57,37 c | 5,36 a  | 9,08 a   | 59,41 c  | 10,54 a | 0,59 ab   | 6,93 c |
|        | 6       | 60,75 d | 4,07 a  | 9,20 a   | 66,15 d  | 10,06 a | 0,44 a    | 6,96 c |

a-e: Para cada factor, letras diferentes dentro de la misma columna denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

### Luminosidad ( $L^*$ )

Al analizar el factor lavado, se puede apreciar, en la tabla 34, que independientemente del número de lavados aplicados, el valor promedio de luminosidad ( $L^*$ ) se incrementó. Las posibles explicaciones a este efecto podrían ser similares a las descritas en el apartado 4.2.1.4.1.

Al analizar el factor concentración de aditivo de lavado, se puede apreciar que, con la concentración del 1% de cloruro sódico, se presentó el valor más alto de esta coordenada. Tornberg *et al.*

(1993) señalaron, en estudios previos sobre la acción del cloruro sódico, que ésta tenía un efecto extractivo sobre la mioglobina en carne de cerdo. Bajo este punto de vista, cabría pensar que un aumento en la concentración de cloruro sódico obtendría mayores valores de  $L^*$ . Sin embargo, no ocurrió este fenómeno, lo cual podría estar incidiendo en otro factor como el aumento de la capacidad de retención de agua (CRA), en la cual estaría primando más el efecto que sobre la estructura (una menor reflexión de la luz) tiene el NaCl que el efecto extractivo de este mismo aditivo ya que, la sal altera el equilibrio osmótico del tejido (Pearson y Tauber, 1984), aumenta la fuerza iónica y contribuye, en función de su concentración, a la solubilidad de proteínas cárnicas (Offer y Knight, 1988; Hamm, 1994; Medynski *et al.*, 2000). Además, el cloruro sódico modifica el punto isoeléctrico de las proteínas cárnicas hacia valores más bajos de pH, mejorando sus propiedades de retención de agua (Eilert y Mandingo, 1996).

Cuando la sal es añadida a la CAMR, ésta penetraría en su estructura, modificando las cargas electrostáticas de los miofilamentos (Hamm, 1960; Katsaras *et al.*, 1991; Wismer-Pedersen, 1994), afectando al punto isoeléctrico de las proteínas y aumentando su capacidad de retención de agua (Girard, 1991; Katsaras *et al.*, 1991; Prändl, 1994; Wismer-Pedersen, 1994). Este incremento de la capacidad de retención de agua disminuye la disponibilidad de agua libre sobre la superficie de la muestra, reduciendo así la reflexión de la luz, y por ende la luminosidad (Kropf, 1993; Swatland, 1995).

Otros trabajos realizados sobre el proceso de elaboración de diversos productos cárnicos cocidos y crudo-curados señalan que tanto la incorporación de este aditivo como la difusión del mismo a través de las masas musculares reduce la luminosidad (Fernández-López *et al.*, 2004a; Sánchez-Rodríguez, 1994; Pérez-Alvarez *et al.*, 1998; Perlo, 1997). Este efecto de disminución de  $L^*$  por acción de la

sal ha sido también descrito en productos de pescado (Garrido, 1997). Cabe mencionar que en todos estos trabajos la incorporación de sal al producto se realizó en seco, es decir, sin su previa disolución en agua. Esta característica es importante destacarla porque García-Marcos *et al.* (1996) señalaron un comportamiento de la  $L^*$  de la carne diferente cuando este aditivo es incorporado disuelto en el agua.

Al analizar la interacción mediante el test de Scheffe (tabla 34), se puede apreciar que para la concentración del 1% no se presentaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre el número de lavados 2, 3, 4 y 5, y sí, entre este bloque y el resto de número de lavados.

Al analizar la interacción concentración de aditivo y número de lavados, se puede apreciar que no existieron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre los lavados 2, 3 y 4, ni entre los lavados 5 y 6 pero sí entre éstos y el resto, para la concentración del 0,5%.

Al analizar la interacción concentración de aditivo y número de lavado, se puede apreciar que, para la concentración del 1,5% no existieron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre el lavado 4 y 5, existiendo diferencias significativas entre este bloque y el resto. No obstante, si se atiende al criterio de Reppond y Babbitt (1997), sólo las diferencias mayores a la unidad, para los valores de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ) tienen sentido práctico, aspecto que se puede observar en la tabla 35.

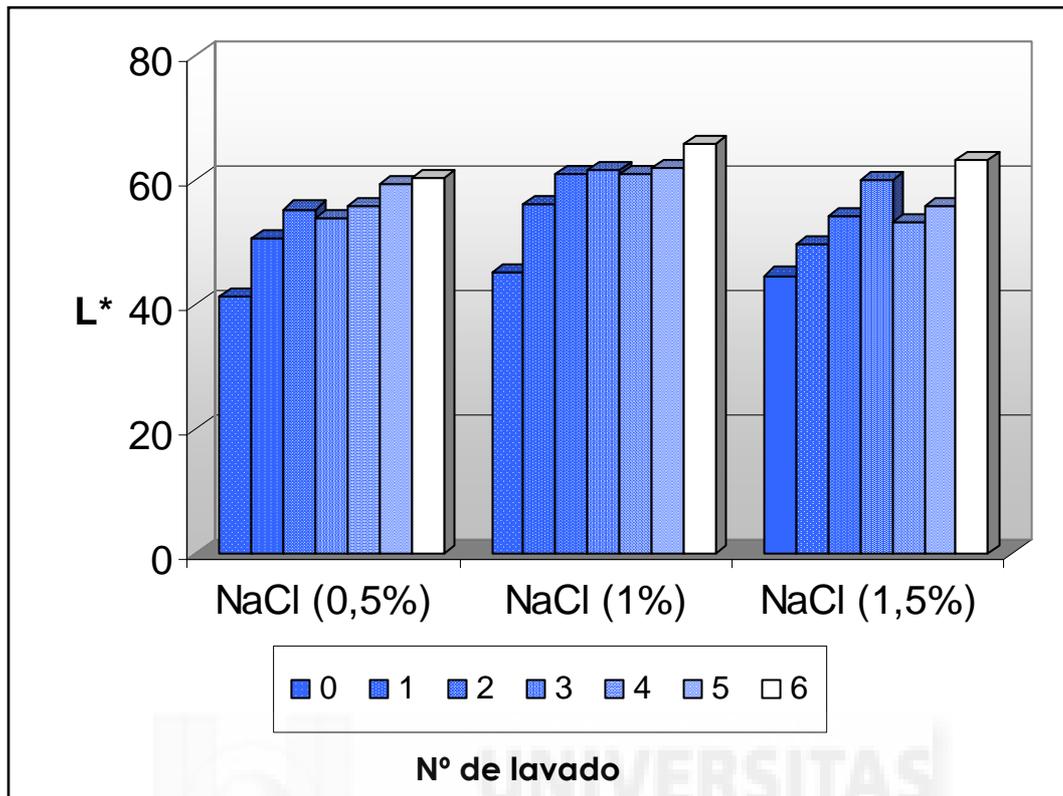
**Tabla 35.** Criterio de Reppond y Babbitt (1997) aplicado a los valores medios de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ) de la CAMR después de cada lavado empleando diversos aditivos de lavado

| Nº LAVADO | CLORURO SÓDICO | TRIPOLIFOSFATO SÓDICO | BICARBONATO SÓDICO | ÁCIDO LÁCTICO | LACTATO SÓDICO |
|-----------|----------------|-----------------------|--------------------|---------------|----------------|
| 0         | A              | A                     | A                  | A             | A              |
| 1         | B              | B                     | B                  | B             | B              |
| 2         | C              | C                     | CD                 | C             | D              |
| 3         | D              | C                     | D                  | C             | C              |
| 4         | C              | C                     | D                  | C             | B              |
| 5         | D              | D                     | D                  | C             | C              |
| 6         | E              | D                     | D                  | C             | B              |

A-E: letras diferentes entre columnas denotan diferencias mayores a la unidad

El efecto combinado del lavado y de la concentración de aditivo añadido sobre la luminosidad varía fundamentalmente en función de la concentración añadida, siendo el efecto más homogéneo en la concentración del 1% de NaCl. Esta concentración de aditivo genera en el producto una mayor claridad del mismo, a diferencia de las anteriores concentraciones de aditivo de lavado.

En la figura 22 se representa la interacción de los factores concentración y número de lavados para la coordenada luminosidad ( $L^*$ ) obtenidos en el proceso de lavado (en los lavados 0 a 6) para las tres concentraciones de cloruro sódico empleadas (0,5, 1 y 1,5%).



**Figura 22.** Representación gráfica de la interacción concentración de cloruro sódico y número de lavados para la coordenada luminosidad ( $L^*$ )

#### Coordenada rojo-verde ( $a^*$ )

Al analizar la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), se puede apreciar (Tabla 33) que, ambos factores y su interacción, resultaron significativos. Al resultar significativos, se aplicaron respectivamente el test de Tukey y el test de Scheffe. En la tabla 34 se observa el valor promedio de la coordenada rojo-verde para ambos factores, mientras que en la figura 23 se hace una representación gráfica de la interacción de ambos.

Al analizar el factor concentración se puede apreciar que, independientemente de la concentración añadida, los valores de  $a^*$  disminuyeron con respecto al control, siendo más importante su efec-

to a concentraciones iguales o superiores del 1% de cloruro sódico (no se encuentran diferencias significativas entre esta concentración y la del 1,5%, y sí aparecen entre estas dos concentraciones y el resto). A diferencia de la coordenada luminosidad, el efecto de la concentración es más marcado. No obstante, no se debería perder de vista que pudiesen estar afectando, aunque en menor medida, a los valores de esta coordenada los estados de los hemopigmentos restantes ya que, los estudios realizados por Fernández-López (1998) han demostrado que a distintas concentraciones de un mismo aditivo, los estados de la Mb se modifican manteniendo su estado u oxidándose. El descenso observado podría atribuirse a la pérdida de hemopigmentos por el proceso de lavado y los distintos valores encontrados, al estado de los hemopigmentos.

Actualmente, hay descritas dos teorías acerca del efecto de la sal sobre la coordenada  $a^*$  en la carne. La primera y más antigua menciona que la incorporación de sal a la carne extrae las proteínas sarcoplásmicas, entre ellas la Mb, a la superficie de la misma, incrementando con ello los compuestos que contribuyen a la componente roja del color de la carne (Tornberg *et al.*, 1993; Pérez-Alvarez *et al.*, 1998). La segunda, menciona que, en la carne picada, la componente roja del color ante el agua y la sal se comportaría como una disolución. La incorporación de agua externa ejercería un efecto diluyente sobre dicha componente. El aumento de la CRA provocado por la incorporación de sal, al disminuir la cantidad de agua externa, provocaría un incremento de la concentración de dicha componente en la superficie de la carne y con ello un incremento de  $a^*$ . Cabe mencionar que según esta teoría, la estructura muscular jugaría también un papel muy importante, pues cuanto más intacta esté, mayor efecto sobre esta coordenada presentará la incorporación de sal a la misma, asemejándose a las características (color) de la carne DFD (Pérez-Álvarez, comunicación personal). Ambas teorías no son con-

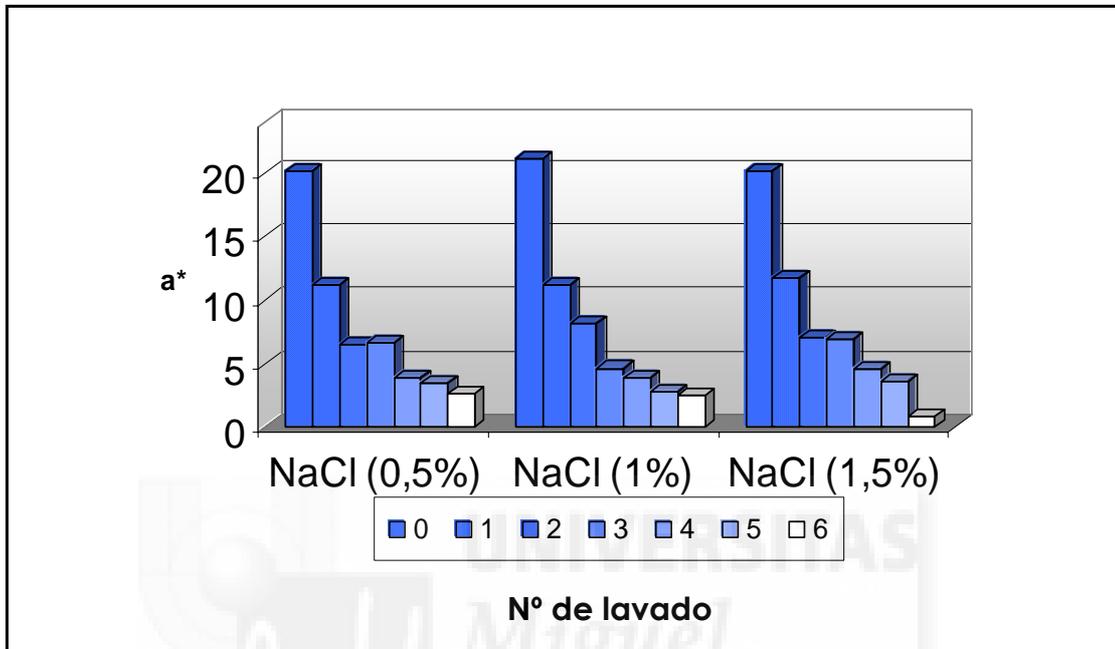
tradictorias y pudieran estar ocurriendo de forma simultánea, en primer lugar un efecto extractivo (para la concentración de 0,5%) y, en segundo lugar, el efecto diluyente para las otras dos concentraciones estudiadas.

Al analizar el factor número de lavados, se puede apreciar que, independientemente del número de lavados aplicados, el valor de esta coordenada disminuyó. Este efecto está parcialmente descrito en el apartado 4.2.1.4.

La hemoglobina y la mioglobina presente en la CAMR se encuentran de forma "libre" debido al proceso de obtención de este tipo de carne, en el cual hay una ruptura de la integridad muscular así como de la integridad ósea. Por consiguiente, se extrae parte de la médula ósea donde se encuentran las células precursoras de los glóbulos rojos, ricos en hemoglobina (Froning, 1995; Field, 1999; Kolsarici y Candogan, 2002). Estos hemopigmentos, como se mencionó anteriormente, son solubles en agua, por lo cual, *a priori*, serían fácilmente eliminados de las muestras. Varios autores han mencionado que la coordenada  $a^*$  en la carne se comporta como una solución, diluyéndose (reduciendo su valor) al incrementarse el contenido de agua y/o grasa (Pérez-Álvarez, 1996; Fernández-López, 1998; Pérez-Álvarez y Fernández-López, 2001). En estos trabajos se observó un descenso en los valores de esta coordenada, lo cual podría deberse a la dilución en el agua de lavado de los hemopigmentos presentes en las muestras.

En la tabla 34 se puede apreciar que la concentración que más redujo los valores de esta coordenada fue la del 1%. Esa concentración es la que presenta mayor poder "extractor" de la componente roja de este tipo de producto.

En la figura 23 se representa la interacción de los factores, concentración y número de lavados, para la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) obtenidos en el proceso de lavado (en los lavados 0 a 6) para las tres concentraciones de cloruro sódico empleadas (0,5, 1 y 1,5%).



**Figura 23.** Representación gráfica de la interacción concentración de cloruro sódico y número de lavados para la coordenada rojo-verde ( $a^*$ )

En la tabla 36 se presenta el resultado de la aplicación del criterio de Reppond-Babbitt (1997) a los valores de la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) de la CAMR después de cada lavado, empleando diversos aditivos de lavado.

**Tabla 36.** Criterio de Reppond-Babbitt (1997) aplicado a los valores medios de la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) de la CAMR después de cada lavado empleando diversos aditivos de lavado

| Nº LAVADO | CLORURO SÓDICO | TRIPOLIFOSFATO SÓDICO | BICARBONATO SÓDICO | ÁCIDO LÁCTICO | LACTATO SÓDICO |
|-----------|----------------|-----------------------|--------------------|---------------|----------------|
| 0         | E              | C                     | D                  | A             | A              |
| 1         | D              | B                     | C                  | B             | B              |
| 2         | C              | A                     | B                  | C             | B              |
| 3         | C              | A                     | A                  | D             | B              |
| 4         | B              | A                     | A                  | E             | B              |
| 5         | B              | A                     | A                  | E             | B              |
| 6         | A              | A                     | A                  | F             | B              |

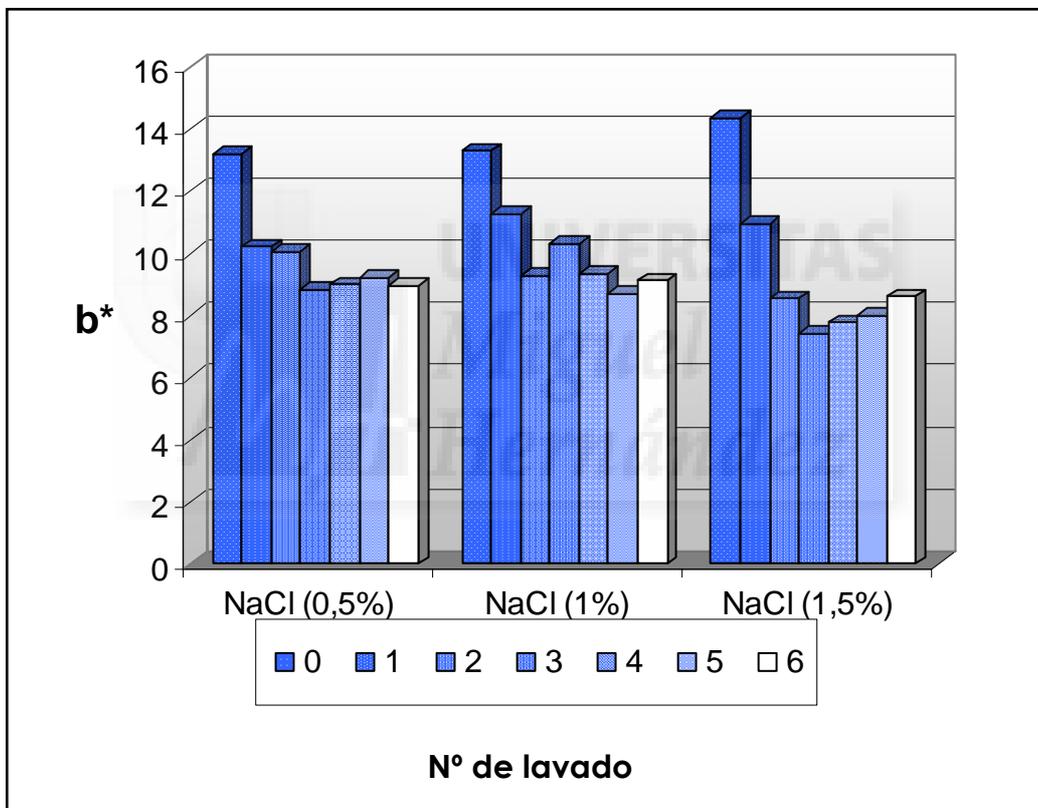
A-F: letras diferentes entre columnas denotan diferencias mayores a la unidad

#### Coordenada amarillo-azul ( $b^*$ )

Al estudiar el factor aditivo para la coordenada  $b^*$  se puede apreciar que el efecto del aditivo es menos notorio que en las anteriores coordenadas (Tabla 34). Si bien varios autores han señalado que los valores de esta coordenada dependen del estado de la Mb (Fernández-López, 1998; Fernández-López *et al.*, 2000b), también se ha sugerido (Pérez-Álvarez, 2000) que esta coordenada depende de la matriz muscular, con lo cual, en este caso, el efecto de la matriz muscular estaría enmascarando el posible efecto observado en la coordenada  $a^*$  sobre el estado de los hemopigmentos. La incorporación de sal a la carne podría estar interfiriendo la formación de la OMb, que según Johansson *et al.* (1991) sería la responsable, en gran parte, del valor de esta coordenada. La sal disminuye la solubilidad del oxígeno en el agua (Montes, 1966; Sayas, 1997), y por lo tanto dificultaría la oxigenación de los hemopigmentos liberados durante el proceso

de obtención de esta carne. También se debe considerar que la sal podría estar alterando la estructura de los hemopigmentos (desnaturalizándolos) así como, oxidando el estado ferroso del grupo hemo al estado férrico (Judge *et al.*, 1989; Knipe, 1993).

En la figura 24 se representan los valores de la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ) obtenidos en el proceso de lavado (en los lavados 0 a 6) para las tres concentraciones de cloruro sódico empleadas (0,5, 1 y 1,5%).



**Figura 24.** Representación gráfica de la interacción concentración de cloruro sódico y número de lavados para la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ )

En la tabla 37 se presenta el resultado de la aplicación del criterio de Reppond-Babbitt (1997) a los valores de la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ) de la CAMR después de cada lavado, empleando diver-

sos aditivos de lavado.

**Tabla 37.** Criterio de Reppond-Babbitt (1997) aplicado a los valores medios de la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ) de la CAMR después de cada lavado empleando diversos aditivos de lavado

| Nº LAVADO | CLORURO SÓDICO | TRIPOLIFOSFATO SÓDICO | BICARBONATO SÓDICO | ÁCIDO LÁCTICO | LACTATO SÓDICO |
|-----------|----------------|-----------------------|--------------------|---------------|----------------|
| 0         | C              | C                     | A                  | A             | C              |
| 1         | B              | C                     | B                  | B             | B              |
| 2         | A              | B                     | C                  | C             | A              |
| 3         | A              | A                     | C                  | D             | A              |
| 4         | A              | A                     | C                  | D             | A              |
| 5         | A              | A                     | C                  | D             | A              |
| 6         | A              | A                     | C                  | DE            | A              |

A-D: letras diferentes entre columnas denotan diferencias mayores a la unidad

#### Magnitud psicofísica croma ( $C^*$ )

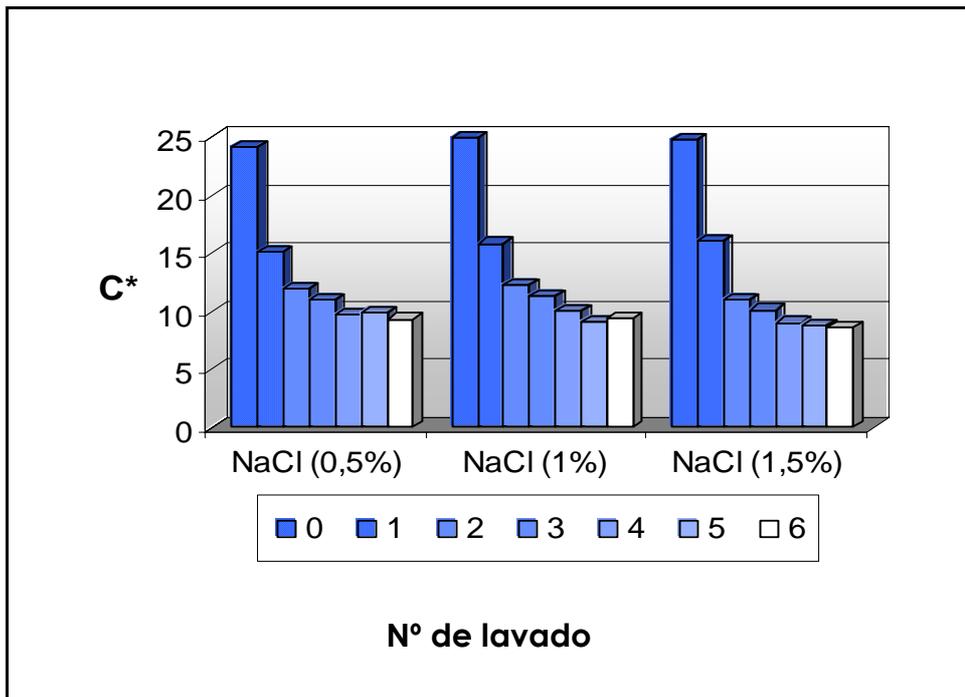
En cuanto a la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), se puede apreciar como los valores de  $C^*$  disminuyeron, es decir, el color pierde saturación o incrementa la componente gris del color, independientemente de la concentración de aditivo utilizado. Como se describe en el apartado 4.2.1.4.4, el  $C^*$  es dependiente del efecto que tienen los distintos factores sobre una de las coordenadas estudiadas ( $C^*$  puede ser  $a^*$  o  $b^*$  dependiente). De acuerdo a este criterio se puede apreciar como la saturación de las pastas estudiadas, por efecto de la concentración de cloruro sódico, es  $a^*$  dependiente, es decir, que  $C^*$  dependerá de los factores que afecten a la coordenada rojo-verde.

Un incremento en el contenido de humedad en los productos cárnicos y en carne picada provoca un descenso en los valores de  $C^*$ , efecto que se observa en los resultados obtenidos en el apartado 4.3.1.1. Pérez-Álvarez (comunicación personal) menciona que este comportamiento del croma está asociado al denominado factor de dilución. La mayor concentración de agua en los productos ocasiona que el “contenido de grises” del mismo se incremente.

Al analizar el efecto del lavado con cloruro sódico, se puede apreciar que, en promedio, la componente gris aumentó. Sin embargo, a diferencia del efecto de la concentración de aditivos (el croma fue  $a^*$  dependiente), mientras que en el lavado dicha magnitud fue  $b^*$  dependiente. No obstante, se puede atribuir como mecanismo de reducción de  $C^*$  la disminución en el contenido en hemoproteínas.

En el estudio realizado por Pérez-Álvarez *et al.* (1998) se determinó que, a mayor concentración de proteínas sarcoplásmicas (Mb/Hb) en la carne, mayor era la saturación presentada por ésta. En el presente estudio, el croma disminuyó, principalmente en el primer lavado de la CAMR, que sería el lavado en el que mayor cantidad de este tipo de proteínas se solubilizan en el agua de lavado y, por lo tanto, bajó la concentración de las proteínas sarcoplásmicas en la carne, por lo que se podría pensar que, en parte, el descenso de la concentración de mioglobina/hemoglobina en la carne podría ser el responsable del descenso del croma, asociado con el incremento en los valores de humedad de la CAMR.

En la figura 25 se representan los valores de la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ) obtenidos en el proceso de lavado (en los lavados 0 a 6) para las tres concentraciones de cloruro sódico empleadas (0,5, 1 y 1,5%).



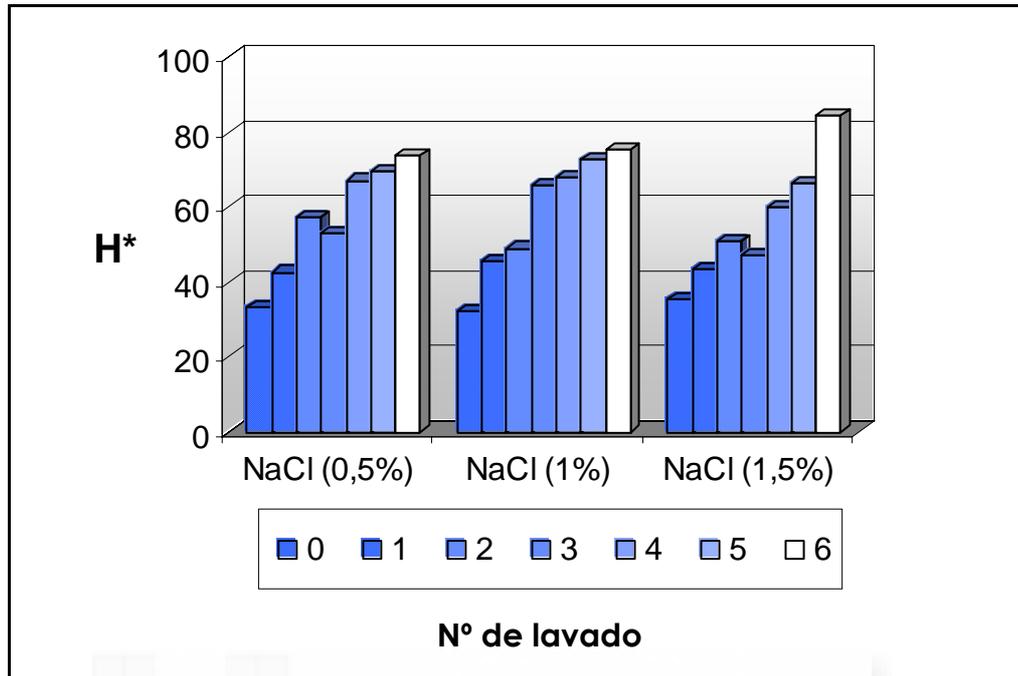
**Figura 25.** Representación gráfica de la interacción concentración de cloruro sódico y número de lavados de la magnitud psicofísica cromática ( $C^*$ )

#### Magnitud psicofísica tono ( $H^*$ )

Al analizar el efecto de los aditivos sobre los valores del tono, se puede apreciar cómo, independientemente del aditivo utilizado, el valor de  $H^*$  aumentó. El valor de esta magnitud psicofísica está relacionado con distintos factores (apartado 4.2.1.4.5.). Relacionando esos factores con los resultados, se puede mencionar que el lavado y la extracción de proteínas sarcoplasmáticas de las muestras serían los responsables de este comportamiento. Los tonos quedaron comprendidos en el rango de los tonos rojos y naranjas ( $30^\circ$  para el rojo,  $60^\circ$  para el naranja y  $90^\circ$  para el amarillo) (Aguilar y Blanca, 1985).

En la figura 26 se representan los valores de la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ) obtenidos en el proceso de lavado (en los lavados 0 a

6) para las tres concentraciones de cloruro sódico empleadas (0,5, 1,0 y 1,5%).



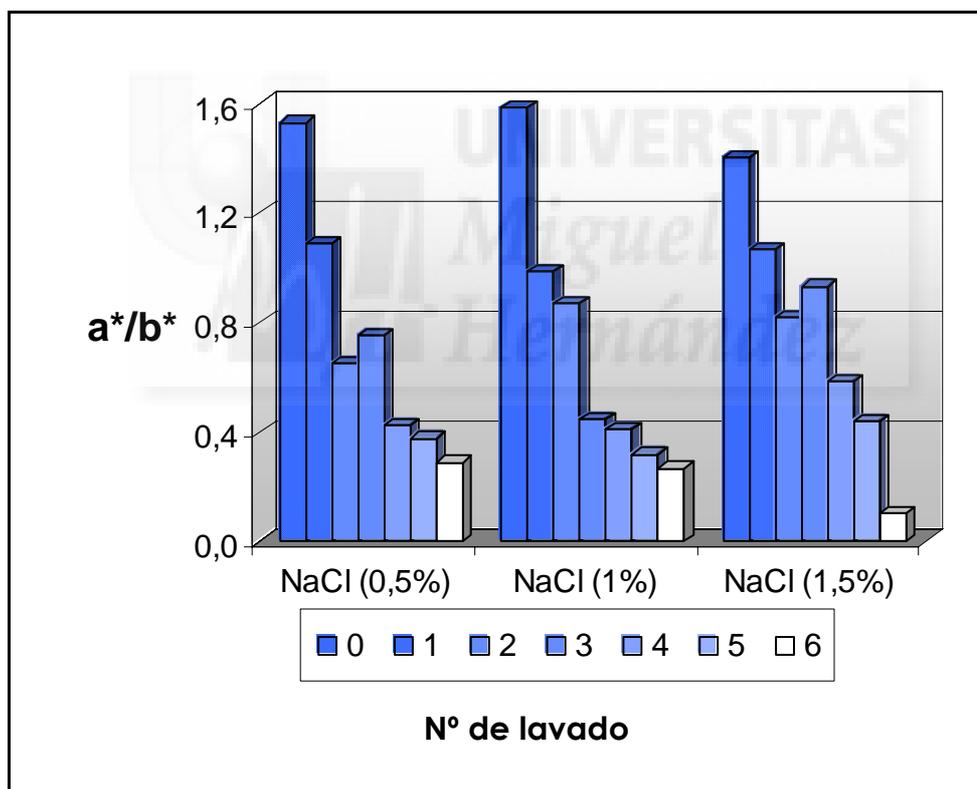
**Figura 26.** Representación gráfica de la interacción concentración de cloruro sódico y número de lavados para la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ )

Índice de rojez ( $a^*/b^*$ )

En cuanto al índice de rojez, se puede apreciar como este índice disminuye. Independientemente de la concentración de aditivo utilizada y del número de lavados, se aprecia que la rojez depende exclusivamente del comportamiento de la coordenada  $a^*$  y, no como se ha observado en otros productos cárnicos en los que depende de ambas (Pérez-Alvarez, 1996; Rosmini, 1997). La concentración de cloruro sódico que más afecta a este parámetro fue la del 1%, siendo la que menor rojez provoca. Este índice disminuye al reducir la concentración de hemopigmentos, aspecto que debe tenerse muy en cuenta en los productos gelificados en donde se busca que sean prácticamente blancos ( $a^*$  tiende a 0 y  $b^*$  también) (McCormick *et al.*, 1993; Park *et al.*, 1996a; Reppond y Babbitt, 1997; Park, 2000). En

productos cárnicos es difícil reducir  $b^*$ , debido a que está relacionada con la estructura de la matriz del producto (Picallo *et al.*, 2000), por lo que esa tendencia hacia el punto acromático tiene que ser realizada mediante la reducción de  $a^*$ . Esto podría a su vez indicar que, en materias primas distintas del pescado blanco, el índice de rojez se disminuiría tanto por la modificación de la componente  $a^*$  como por tratamientos que provoquen una reducción de la coordenada amarillo-azul (Parkington *et al.*, 2000).

En la figura 27 se representan los valores del índice de rojez ( $a^*/b^*$ ) obtenidos en el proceso de lavado (en los lavados 0 a 6) para las tres concentraciones de cloruro sódico empleadas (0,5, 1,0 y 1,5%).



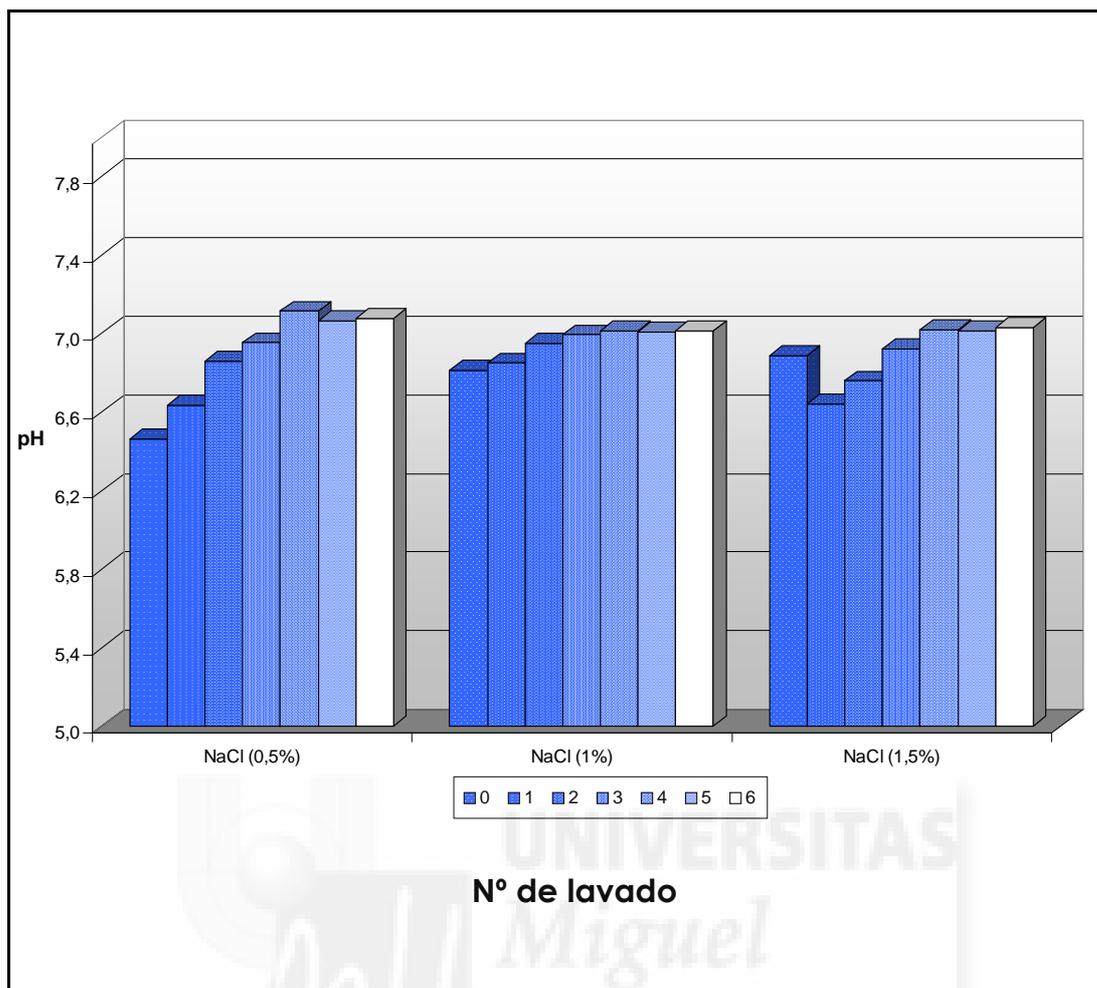
**Figura 27.** Representación gráfica de la interacción concentración de cloruro sódico y número de lavados del índice de rojez ( $a^*/b^*$ )

## pH

El proceso de lavado incrementó, en promedio, para todas las concentraciones de cloruro sódico estudiadas, los valores de pH (tabla 34). Este comportamiento podría estar relacionado con la pérdida de grasa en el proceso de lavado, ya que ésta podría estar actuando como un tampón sobre los valores iniciales de la carne y, además, tras el proceso de lavado con este aditivo podrían haberse eliminado, o roto, los tampones celulares presentes en la carne. Este comportamiento ha sido también descrito por Fernández-Ginés *et al.* (2004) en carne de cerdo. De acuerdo con el trabajo de Bernthal *et al.* (1989), la adición de cloruro sódico a concentraciones de 0,5 al 4%, en sistemas de magro, afecta relativamente poco al valor del pH. Esto podría estar relacionado con el comportamiento, observado en este trabajo, una vez eliminada la gran cantidad de grasa presente en la misma. No obstante, no existe un comportamiento definido del cloruro sódico sobre la carne procedente de distintas especies de abasto, ya que, en el caso del vacuno y el porcino no se aprecia un efecto importante; sin embargo, en otras especies, como el pollo, se ha observado un descenso de 0,1 unidades de pH (Medynski *et al.*, 2000).

Al estudiar el factor aditivo, se puede apreciar que existen diferencias significativas para las distintas concentraciones de cloruro sódico (tabla 34), siendo mayores los valores de pH en la concentración del 1% de cloruro sódico.

Al analizar la interacción concentración de aditivo y número de lavados (figura 28), se puede apreciar que no existieron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los lavados 4, 5 y 6 para la concentración de 1%, ni entre los lavados 4, 5 y 6 para la concentración del 1,5%, pero sí entre éstos y el resto.



**Figura 28.** Representación gráfica de la interacción concentración de cloruro sódico y número de lavados del pH de la CAMR

#### 4.2.2.2. Tripolifosfato sódico

##### 4.2.2.2.1. Caracterización química de la CAMR lavada con tripolifosfato sódico (TPS)

En la tabla 38 se expresan los valores obtenidos del Análisis de la Varianza de la composición química (cenizas, grasa, humedad y proteínas) de la CAMR para el factor concentración de aditivo de lavado. En esta tabla, se puede apreciar que el factor estudiado resultó significativo ( $P < 0,05$ ) para todas las variables analizadas.

**Tabla 38.** Resultado del Análisis de la Varianza (ANOVA) del contenido en cenizas, grasa, humedad y proteínas de la CAMR para distintas concentraciones de tripolifosfato sódico (TPS)

| VARIABLES | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F     | P      |
|-----------|-------------------|--------------------|----------------|-------|--------|
| CENIZAS   | 71,5002           | 3                  | 23,8334        | 20,47 | 0,0000 |
| GRASA     | 104,2190          | 3                  | 34,7397        | 2,47  | 0,0060 |
| HUMEDAD   | 599,6440          | 3                  | 199,8810       | 2,86  | 0,0083 |
| PROTEÍNAS | 0,0015            | 3                  | 0,0005         | 0,67  | 0,0482 |

En la tabla 39 se expresan los valores del contenido en proteínas, grasa, humedad y cenizas de la CAMR después del proceso de lavado con TPS.

**Tabla 39.** Valores medios del contenido en proteínas, grasa, humedad y cenizas de la CAMR después del proceso de lavado con distintas concentraciones de tripolifosfato sódico

| TPS (%) | PROTEÍNAS (%) | GRASA (%) | HUMEDAD (%) | CENIZAS (%) |
|---------|---------------|-----------|-------------|-------------|
| CONTROL | 16,16a        | 16,00a    | 66,11b      | 1,07a       |
| 0,005   | 8,46b         | 10,54b    | 78,70a      | 1,06a       |
| 0,010   | 8,44b         | 10,09b    | 78,32a      | 0,84b       |
| 0,015   | 8,01b         | 11,07b    | 78,29a      | 0,81b       |

a-c: Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores medios; % (kg/100 kg de materia húmeda)

TPS: tripolifosfato sódico

Al analizar el factor concentración de aditivo de lavado (considerando en promedio el número de lavados), el test de Tukey señaló que no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en el contenido en proteínas, grasa y humedad de las muestras lavadas con TPS,

pero sí entre éstas y la muestra control (sin aditivo de lavado). Para las concentraciones de proteínas y grasa, el lavado con TPS disminuyó los valores, mientras que la humedad se incrementó. En el caso del contenido en cenizas, no se presentaron diferencias entre la muestra control y la lavada con 0,005% de TPS, pero sí entre éstas y las lavadas con 0,010% y 0,015% de TPS (Tabla 39).

Este comportamiento reflejaría, no sólo el propio efecto del lavado sobre las proteínas, sino también el incremento del efecto extractor que dicho aditivo ejerce sobre las mismas, relacionado fundamentalmente con modificaciones de la fuerza iónica del medio (Pearson y Tauber, 1984). En cuanto al efecto sobre el contenido en grasa, podría ser similar al descrito en el apartado 4.2.2.1.1. También hay que tener en cuenta que la incorporación de TPS aumenta la solubilización de las proteínas, favoreciendo el reagrupamiento de los glóbulos grasos e incrementando su tamaño, y con ello favoreciendo su extractabilidad (Beriaín *et al.*, 1989). El incremento en contenido de humedad de las muestras lavadas con TPS se explicaría por el incremento en la CRA descrito para este aditivo (Wismer-Pedersen, 1994).

#### 4.2.2.1.2. Caracterización físico-química de la CAMR lavada con tripolifosfato sódico

En la tabla 40 se expresan los valores obtenidos del Análisis de la Varianza de las variables físico-químicas pH, coordenadas de color y magnitudes psicofísicas e índice de rojez de la CAMR para el factor concentración de aditivo de lavado y el factor número de lavado.

**Tabla 40.** Resultado del Análisis de la Varianza (ANOVA) de las variables físico-químicas pH, coordenadas de color y magnitudes psicofísicas e índice de rojez de la CAMR para los factores concentración de aditivo de lavado y número de lavado.

| Variables | FACTORES         | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRA-DO MEDIO | F      | P      |
|-----------|------------------|-------------------|--------------------|-----------------|--------|--------|
| pH        | Conc. de aditivo | 7,303             | 3                  | 2,434           | 124,78 | 0,0000 |
|           | Nº lavado        | 1,638             | 6                  | 0,273           | 13,99  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 1,906             | 18                 | 0,106           | 5,43   | 0,0000 |
| L*        | Conc. de aditivo | 88,880            | 3                  | 29,627          | 2,21   | 0,0889 |
|           | Nº lavado        | 3135,270          | 6                  | 522,546         | 38,97  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 384,829           | 18                 | 21,379          | 1,59   | 0,0663 |
| a*        | Conc. de aditivo | 7962,720          | 3                  | 2654,240        | 223,43 | 0,0000 |
|           | Nº lavado        | 2039,960          | 6                  | 339,993         | 28,62  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 631,897           | 18                 | 35,105          | 2,96   | 0,0001 |
| b*        | Conc. de aditivo | 2155,030          | 3                  | 718,343         | 218,13 | 0,0000 |
|           | Nº lavado        | 510,393           | 6                  | 85,066          | 25,83  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 277,659           | 18                 | 15,426          | 4,68   | 0,0000 |
| C*        | Conc. de aditivo | 3846,120          | 3                  | 1282,040        | 108,09 | 0,0000 |
|           | Nº lavado        | 2258,240          | 6                  | 376,374         | 31,73  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 670,003           | 18                 | 37,222          | 3,14   | 0,0001 |
| H*        | Conc. de aditivo | 66041,500         | 3                  | 22013,800       | 666,55 | 0,0000 |
|           | Nº lavado        | 1392,240          | 6                  | 232,040         | 7,03   | 0,0000 |
|           | Interacción      | 3006,160          | 18                 | 167,009         | 5,06   | 0,0000 |
| a*/b*     | Conc. de aditivo | 3956,330          | 3                  | 1318,780        | 34,05  | 0,0000 |
|           | Nº lavado        | 1431,210          | 6                  | 238,534         | 6,16   | 0,0000 |
|           | Interacción      | 3619,620          | 18                 | 201,090         | 5,19   | 0,0000 |

En aquellas variables para las que este factor resultó significativo, se procedió a aplicar el test de Tukey. En la tabla 41 se expresan los valores promedio de cada lavado para las coordenadas luminosidad (L\*), coordenada rojo-verde (a\*), coordenada amarillo-azul (b\*),

magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), índice de rojez y pH de la CAMR tras cada lavado y para las distintas concentraciones de aditivo de lavado estudiadas.

**Tabla 41.** Valores medios de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), índice de rojez y pH de la CAMR para los factores número de lavados y concentración de tripolifosfato sódico (TPS)

|        |         | $L^*$  | $a^*$  | $b^*$  | $H^*$  | $C^*$  | $a^*/b^*$ | pH    |
|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|-------|
| TPS    | Control | 51,03a | 12,02d | 10,82b | 41,99a | 16,17b | 1,11a     | 6,66a |
|        | 0,005%  | 52,59a | 9,97c  | 10,26b | 45,82b | 14,31a | 0,97b     | 6,77b |
|        | 0,010%  | 51,37a | 8,97b  | 9,95a  | 47,97c | 13,40c | 0,90c     | 7,01c |
|        | 0,015%  | 51,38a | 7,41a  | 9,48a  | 51,99d | 12,03d | 0,78d     | 7,10d |
| Lavado | Control | 43,54a | 21,38c | 12,13c | 30,57a | 24,58c | 1,76d     | 6,73a |
|        | 1       | 50,89b | 13,50b | 12,22c | 42,15d | 18,21b | 1,10b     | 6,79a |
|        | 2       | 52,22c | 9,19a  | 8,80b  | 40,87c | 12,72a | 1,16c     | 6,89b |
|        | 3       | 52,04c | 8,84a  | 8,02a  | 42,22d | 11,94a | 1,10b     | 6,92b |
|        | 4       | 53,22d | 8,90a  | 7,70a  | 43,76e | 11,77a | 1,04b     | 6,94b |
|        | 5       | 54,35d | 8,58a  | 8,29a  | 47,56f | 11,23a | 0,91a     | 6,91b |
|        | 6       | 54,88d | 8,29a  | 8,12a  | 48,08g | 10,91a | 0,90a     | 6,97c |

a-g: Para cada factor, letras diferentes dentro de la misma columna denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

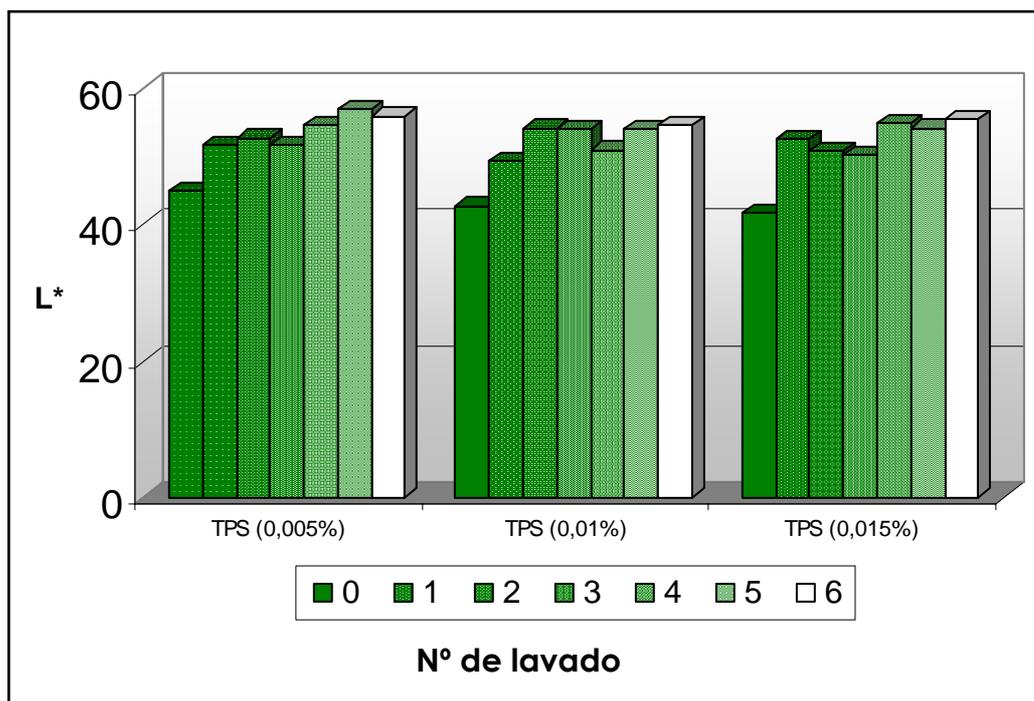
### Luminosidad ( $L^*$ )

Al analizar el factor concentración de aditivo de lavado, se puede apreciar que, con la concentración del 0,005% de tripolifosfato sódico, se presentó el valor más alto de esta coordenada, aunque dichas diferencias no resultaron significativas (tabla 41). Estos resultados son acordes con los de otros autores que, empleando también TPS como aditivo de lavado, obtenían ligeros aumentos de la lumino-

alidad de la carne lavada con TPS respecto a la muestra lavada sólo con agua (Elkhalifa *et al.*, 1988; Yang y Froning, 1992). En cambio, Lee *et al.* (1998), obtuvieron valores más bajos de luminosidad al lavar carne de ternera con TPS que en las muestras lavadas con agua.

Al analizar el factor número de lavados, considerando en promedio la concentración de TPS utilizada, no se presentaron diferencias significativas entre los lavados 2 y 3, ni entre los lavados 4, 5 y 6; sí encontrándose diferencias entre estos bloques y los lavados 1 y la muestra control. Como ocurría en el caso de la CAMR lavada con cloruro sódico (apartado 4.2.2.1.2.), la luminosidad de la CAMR lavada con TPS aumenta con el número de lavados, pudiendo ser debido este aumento a los mismos factores que en ese caso se citaban. Pero si se comparan los resultados obtenidos para la luminosidad de la CAMR lavada con cloruro sódico (tabla 34) con los valores de la luminosidad de la CAMR lavada con TPS (tabla 41) se podría concluir que el efecto del TPS como aditivo de lavado en la luminosidad de la CAMR no es tan alto como en el caso del cloruro sódico.

En la figura 29 se representa la interacción de los factores concentración y número de lavados para la coordenada luminosidad ( $L^*$ ) obtenidos en el proceso de lavado (en los lavados 0 a 6) para las tres concentraciones de TPS empleadas (0,005, 0,010 y 0,015%).



**Figura 29.** Representación gráfica de la interacción concentración de tripolifosfato sódico (TPS) y número de lavados de la coordenada luminosidad ( $L^*$ )

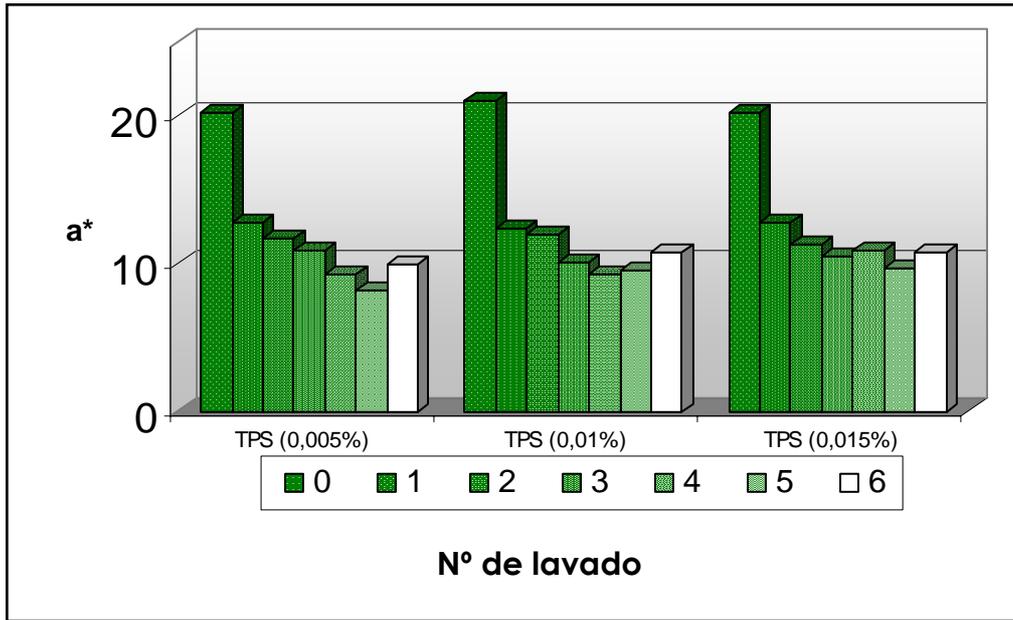
Al analizar la interacción número de lavado-aditivo, considerando en promedio la concentración de aditivo, se puede apreciar que únicamente los lavados 2, 3 y 4 no presentaron diferencias (valores superiores a la unidad), ni tampoco los lavados 5 y 6, de acuerdo al criterio de Reppond y Babbitt (1997) (tabla 35).

#### Coordenada rojo-verde ( $a^*$ )

En el caso de la coordenada  $a^*$ , el test de Tukey mostró diferencias significativas entre todas las concentraciones de TPS ensayadas, considerando en promedio el factor número de lavados (tabla 41). El test de Tukey, aplicado al factor número de lavados, considerando en promedio la concentración de TPS, señaló que no se presentaron diferencias entre los lavados 2, 3, 4, 5 y 6, pero sí entre ellos y el

lavado 1 y la muestra control. Si se comparan estos resultados con los obtenidos para los lavados con cloruro sódico para esta misma coordenada (tabla 34), se puede apreciar que el lavado con cloruro sódico redujo hasta en un 47% (6 unidades) el valor de la coordenada rojo verde (para la concentración 1% de cloruro sódico), mientras que el lavado con TPS la redujo en menor grado. En el trabajo publicado por Elkhalfa *et al.* (1988) en carne de pavo, la reducción que obtenían en la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) cuando empleaban para lavar una disolución de TPS, era de hasta un 50%. Cabría pensar que el efecto extractivo de los hemopigmentos de la CAMR, cuando se emplea como aditivo de lavado el TPS es menor que el efecto del cloruro sódico.

En la figura 30 se representa la interacción de los factores concentración y número de lavados para la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) obtenidos en el proceso de lavado (en los lavados 0 a 6) para las tres concentraciones de TPS empleadas (0,005, 0,010 y 0,015%). Para todas ellas, solo existieron diferencias significativas entre las muestras control (carne sin lavar) y las muestras lavadas, independientemente del número de lavados.



**Figura 30.** Representación gráfica de la interacción concentración de tripolifosfato sódico (TPS) y número de lavados de la coordenada rojo-verde ( $a^*$ )

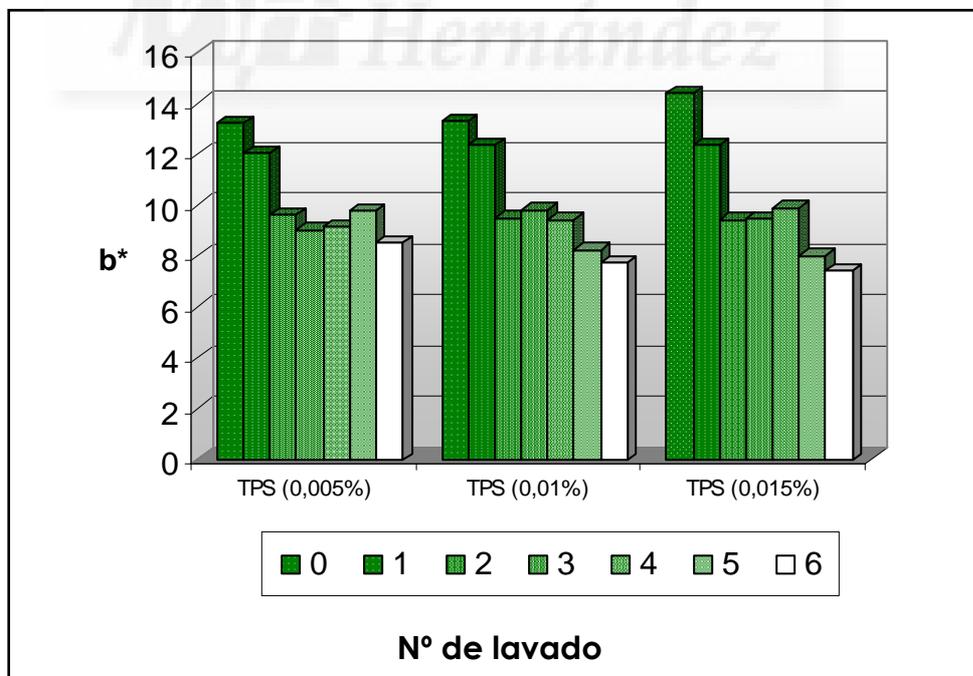
Al analizar la interacción número de lavado-aditivo, considerando en promedio la concentración de aditivo, se puede apreciar que únicamente el lavado 2 presentó diferencias (valores superiores a la unidad), de acuerdo al criterio de Reppond y Babbitt (1997) (tabla 36).

Coordenada amarillo-azul ( $b^*$ )

Como se puede apreciar, existen diferencias significativas para los valores de la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ) (tabla 41) de la CAMR lavada con TPS en función de la concentración de aditivo de lavado empleado, considerado en promedio el factor lavado. El test de Tukey no detectó diferencias entre la muestra control y la lavada con 0,005% de TPS, tampoco entre las lavadas con 0,010 y 0,015% de TPS, pero sí entre ambos bloques. Así mismo, también disminuye en función del número de lavados. El test de Tukey aplicado a este factor, consi-

derando en promedio la concentración de TPS, señaló que no se presentaron diferencias entre los lavados 2, 3, 4, 5 y 6, pero sí entre ellos y el lavado 1 y la muestra control. Estos resultados son acordes a los obtenidos por Lee *et al.*, (1998). En el apartado 4.2.1.4.3 ya se detallan los factores que afectan a esta coordenada.

En la figura 31 se representa la interacción de los factores concentración y número de lavados para la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ) obtenidos en el proceso de lavado (en los lavados 0 a 6) para las tres concentraciones de TPS empleadas (0,005%, 0,010 y 0,015%). La evolución de la coordenada  $b^*$ , para todas las concentraciones, fue la misma. No se presentaron diferencias significativas entre el valor de esta coordenada para la muestra control y la muestra del lavado 1, ni entre las muestras lavadas 3, 4, 5 y 6. Si que existieron diferencias significativas entre ambos bloques entre sí y también comparados con la muestra del lavado 2.



**Figura 31.** Representación gráfica de la interacción concentración de tripolifosfato sódico (TPS) y número de lavados de la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ )

Al analizar la interacción número de lavado-aditivo, considerando en promedio la concentración de aditivo, se puede apreciar que no se presentaron diferencias para ningún lavado (valores superiores a la unidad), de acuerdo al criterio de Reppond y Babbitt (1997) (Tabla 37).

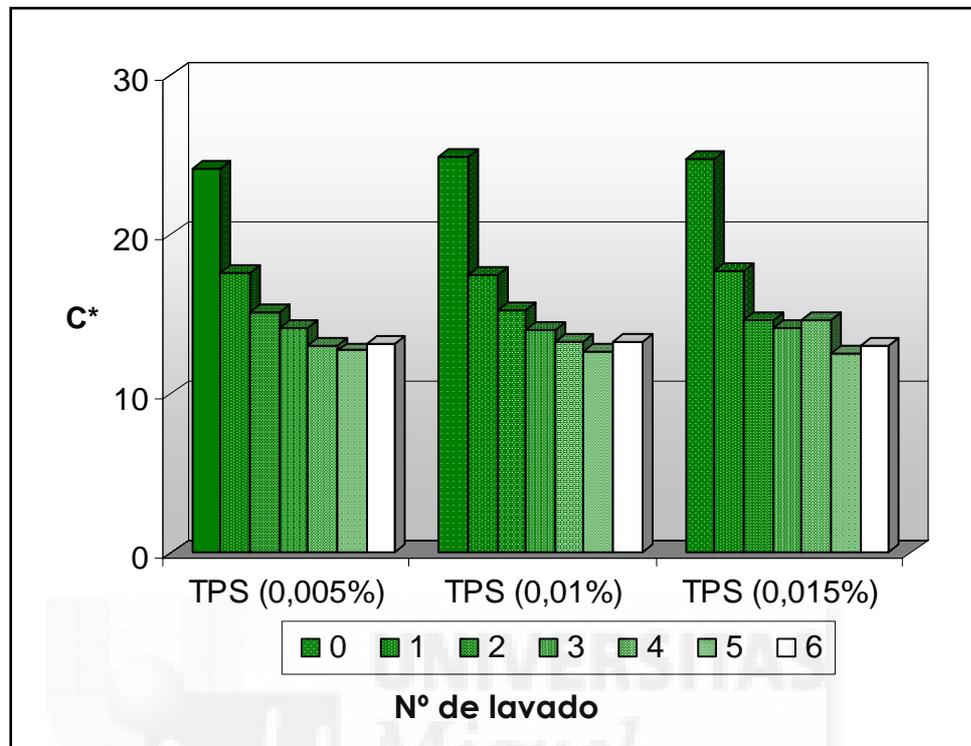
#### Magnitud psicofísica croma (C\*)

Al analizar el factor concentración de aditivo, considerando en promedio el número de lavados, el test de Tukey señaló que se presentaron diferencias significativas entre los 4 niveles estudiados, disminuyendo los valores en función de la concentración de aditivo añadida (Tabla 41). Es decir, la adición de TPS incrementa la componente gris del color de la CAMR. Este comportamiento estaría relacionado con lo ya comentado para el cloruro sódico (apartado 4.2.2.1.2).

Al analizar el factor número de lavados, considerando en promedio el factor concentración, el test de Tukey señaló que no se presentaron diferencias significativas entre los lavados 2, 3, 4, 5 y 6, pero sí entre éstos y el resto, disminuyendo su valor según se incrementaba el número de lavados (tabla 41). Es decir, el lavado con TPS incrementa la componente gris del color (disminuye la saturación del producto).

En la figura 32 se representa la interacción de los factores concentración y número de lavados para la magnitud psicofísica croma (C\*) obtenidos en el proceso de lavado (en los lavados 0 a 6) para las tres concentraciones de TPS empleadas (0,005, 0,010 y 0,015%). En todos los casos, el croma disminuye con el proceso de lavado, presentándose diferencias significativas entre los valores de la magnitud psicofísica croma de la muestra control, para las tres concentraciones estudiadas, y los valores de C\* para los lavados 1, 2, 3, 4, 5 y 6, no pre-

sentándose diferencias entre los valores de  $C^*$  para los lavados 2, 3, 4, 5 y 6.



**Figura 32.** Representación gráfica de la interacción concentración de tripolifosfato sódico (TPS) y número de lavados de la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ )

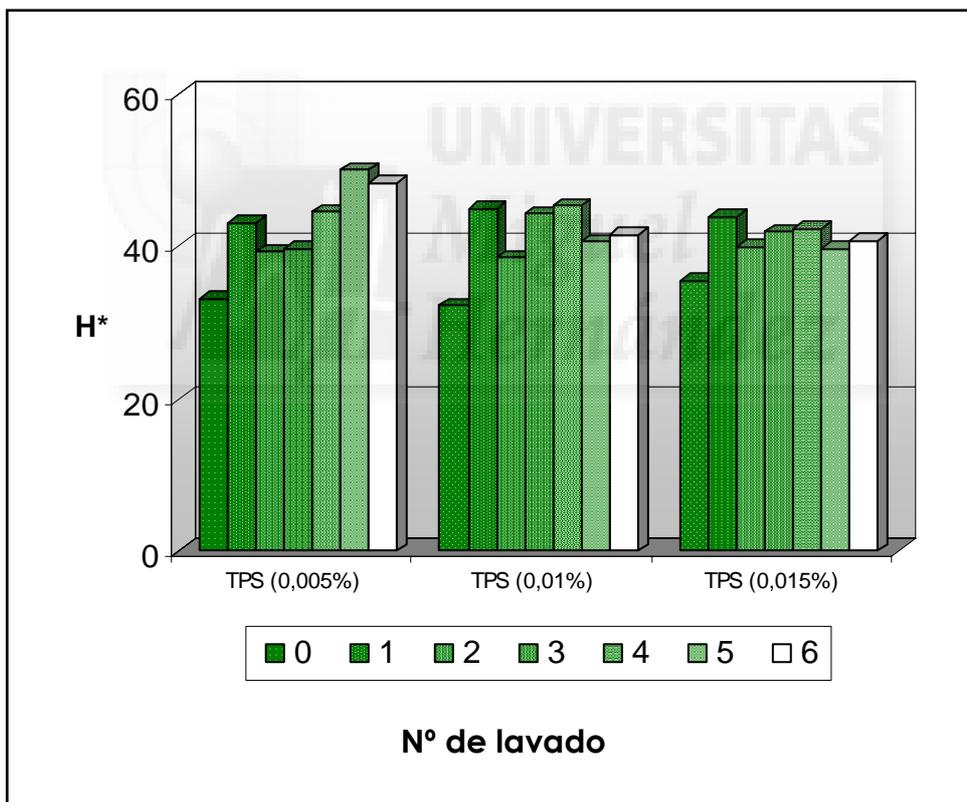
#### Magnitud psicofísica tono ( $H^*$ )

Al analizar el factor concentración de aditivo, considerando en promedio el número de lavados, el test de Tukey señaló que se presentaron diferencias significativas entre todas las concentraciones, incrementándose los valores en función de la concentración de TPS incorporada (tabla 41).

Al analizar el factor número de lavados, considerando en promedio el factor concentración, el test de Tukey señaló que se presentaron diferencias entre todos los lavados, incrementándose los valores de tono en función del número de lavado (tabla 41).

El comportamiento de esta magnitud en función de la concentración de TPS y número de lavados estaría relacionado con lo y descrito en el apartado 4.2.2.1.2. En todos los casos, los valores de tono de la CAMR quedaron comprendidos en el rango de los tonos rojos (Instituto de Racionalización, 1981).

En la figura 33 se representa la interacción de los factores concentración y número de lavados para la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ) obtenidos en el proceso de lavado (en los lavados 0 a 6) para las tres concentraciones de TPS empleadas (0,005, 0,010 y 0,015%).



**Figura 33.** Representación gráfica de la interacción concentración de tripolifosfato sódico (TPS) y número de lavados de la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ )

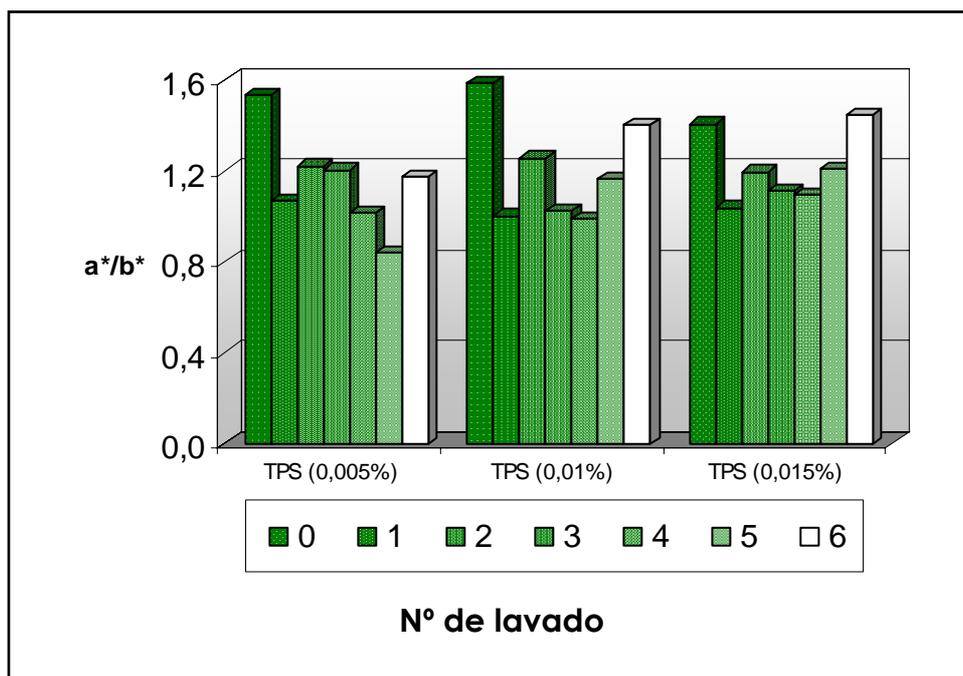
### Índice de rojez ( $a^*/b^*$ )

Al analizar el factor concentración de aditivo, considerando en promedio el número de lavados, el test de Tukey señaló que se presentaron diferencias significativas entre todas las concentraciones, disminuyendo los valores en función de la concentración de TPS incorporada (tabla 41).

Al analizar el factor número de lavados, considerando en promedio el factor concentración, el test de Tukey señaló que se presentaron diferencias entre todos los lavados, excepto entre los lavados 5 y 6, disminuyendo los valores de este índice en función del número de lavados (tabla 41).

El comportamiento de este índice en función de la concentración de TPS y número de lavados estaría relacionado con lo descrito en el apartado 4.2.2.1.2. Los valores del índice de rojez obtenidos para la CAMR lavada con TPS son, en todos los casos, superiores a los obtenidos tras los lavados con cloruro sódico, excepto en el caso de las concentraciones de 1% de cloruro sódico y 0,015 de TPS. Desde el punto de vista del "blanqueamiento" del producto, la utilización de TPS no es por tanto la opción más adecuada, pues mantiene valores muy altos de rojez en el producto.

En la figura 34 se representa la interacción de los factores concentración y número de lavados para índice de rojez ( $a^*/b^*$ ) obtenidos en el proceso de lavado (en los lavados 0 a 6) para las tres concentraciones de TPS empleadas (0,005, 0,010 y 0,015%).



**Figura 34.** Representación gráfica de la interacción concentración de tripolifosfato sódico (TPS) y número de lavados del índice de rojez ( $a^*/b^*$ )

#### pH

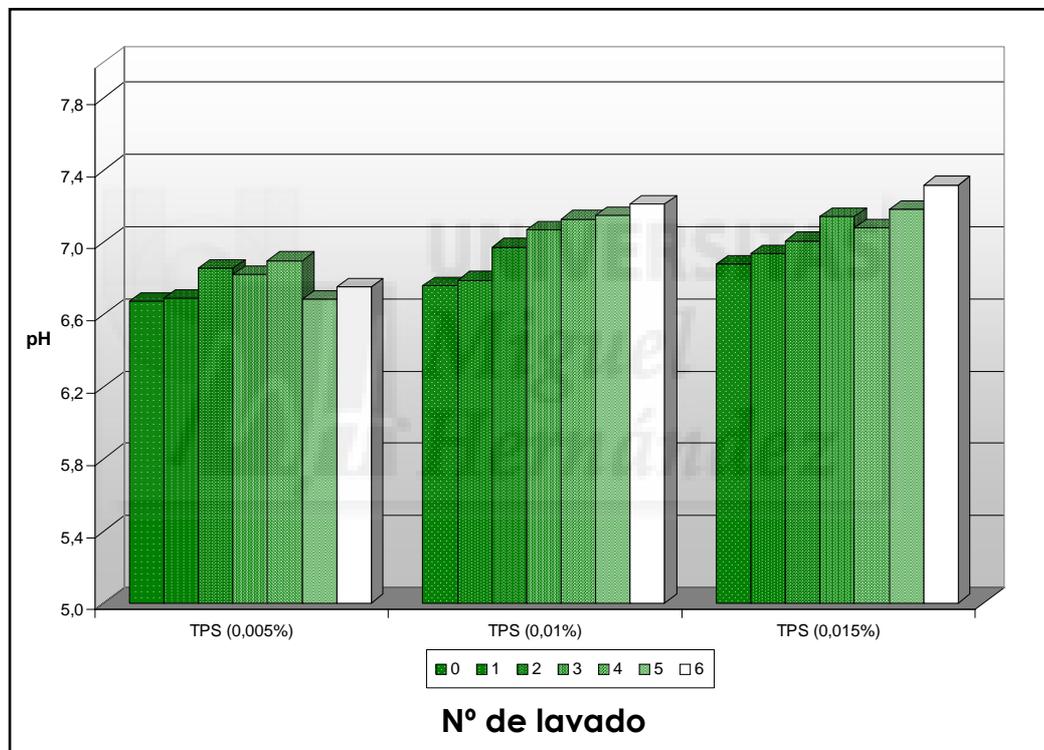
Al analizar el factor concentración de aditivo, considerando en promedio el número de lavados, el test de Tukey señaló que se presentaron diferencias significativas entre todas las concentraciones, incrementándose los valores de pH en función de la concentración de TPS incorporada (tabla 41).

Al analizar el factor número de lavados, considerando en promedio el factor concentración, el test de Tukey señaló que no se presentaron diferencias entre la muestra control y el lavado 1, ni entre los lavados 2, 3, 4 y 5, pero sí entre estos dos bloques y el lavado 6, aumentando los valores en función del número de lavados (tabla 41).

Este comportamiento podría deberse al efecto que Scmidhofer

(1994) describe sobre la utilización de tripolifosfatos alcalinos como el TPS puede incrementar entre 0,1 y 0,4 unidades el pH en matrices cárnicas. Este efecto también ha sido descrito en hamburguesas precocidas (Matlock *et al.*, 1984).

Al analizar la interacción concentración de aditivo y número de lavados (figura 35), se puede apreciar que no existieron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre los lavados 0 y 1, para la concentración del 0,005% pero sí entre éstos y el resto.



**Figura 35.** Representación gráfica de la interacción concentración de tripolifosfato sódico (TPS) y número de lavados del pH de la CAMR

#### 4.2.2.3. Lactato sódico

##### 4.2.2.3.1. Caracterización química de la CAMR lavada con lactato sódico

En la tabla 42 se presentan los resultados obtenidos del Análisis de la Varianza de la composición química (cenizas, grasa, humedad y proteínas) de la CAMR, para el factor aditivo de lavado. En esta tabla, se puede apreciar que el factor estudiado resultó significativo ( $P < 0,01$ ) para todas las variables.

**Tabla 42.** Resultado del Análisis de la Varianza (ANOVA) del contenido en cenizas, grasa, humedad y proteínas de la CAMR para concentraciones de lactato sódico

| VARIABLES | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F      | P      |
|-----------|-------------------|--------------------|----------------|--------|--------|
| CENIZAS   | 2,6881            | 4                  | 0,6720         | 44,43  | 0,0000 |
| GRASA     | 596,0070          | 4                  | 149,0020       | 108,48 | 0,0000 |
| HUMEDAD   | 1543,3300         | 4                  | 385,8330       | 506,72 | 0,0000 |
| PROTEÍNAS | 198,5900          | 4                  | 49,6474        | 109,61 | 0,0000 |

Al resultar significativo este factor para cada una de las variables, se procedió a aplicar el test de Tukey. En la tabla 43 se expresan los valores promedio del contenido en proteínas, grasa, humedad y cenizas de la CAMR después del proceso de lavado con distintas concentraciones de lactato sódico.

**Tabla 43.** Valores medios del contenido en proteínas, grasa, humedad y cenizas de la CAMR después del proceso de lavado con las distintas concentraciones de lactato sódico empleadas

| LACTATO SÓDICO (%) | PROTEÍNAS (%) | GRASA (%) | HUMEDAD (%) | CENIZAS (%) |
|--------------------|---------------|-----------|-------------|-------------|
| CONTROL            | 16,16c        | 16,00b    | 66,11a      | 1,07c       |
| 0,5                | 14,24b        | 5,92a     | 79,44b      | 0,56a       |
| 1,0                | 13,00a        | 5,62a     | 79,45b      | 0,54a       |
| 1,5                | 13,13a        | 5,72a     | 79,64b      | 0,79b       |

a-c: Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores medios; % ( kg/100 kg de materia húmeda)

Al analizar el factor concentración de aditivo de lavado, el test de Tukey señaló que no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en el contenido en proteínas de las muestras lavadas con lactato sódico al 1% y al 1,5%, pero sí entre este bloque y la muestra lavada con lactato sódico al 0,5% y la muestra control (Tabla 43). La disminución en el contenido proteico de las muestras tras el proceso de lavado fue mayor conforme se incrementó la concentración de LS utilizada.

En cuanto al contenido en grasa y humedad, no se aprecian diferencias significativas entre las muestras lavadas con las tres concentraciones empleadas, pero sí entre éstas y la muestra control. En ambos casos las modificaciones (disminución de grasa e incremento de humedad) se deberían al propio proceso de lavado y no a la concentración de lactato sódico utilizada. La utilización de lactato sódico como aditivo de lavado provoca una mayor eliminación de grasa e incremento de la humedad que el uso de cloruro sódico y TPS (Tablas 32 y 39, respectivamente). En el estudio efectuado por Zhou *et al.* (2005) se señala que la utilización de lactato sódico en la elaboración

de *surimi*, además de ejercer un efecto crioprotector, actúa como un humectante.

Al analizar el contenido en cenizas de las muestras, el test de Tukey no encontró diferencias entre las muestras lavadas con 0,5 y 1,0%, pero sí entre éstas y el resto. En cualquier caso, el lavado de la CAMR con lactato redujo los valores del contenido en cenizas, independientemente de la concentración de aditivo utilizada, siendo su valores inferiores a los obtenidos tras el lavado con cloruro sódico y TPS (Tablas 32 y 39, respectivamente).

#### 4.2.2.3.2. Caracterización físico-química de la CAMR lavada con lactato sódico

En la tabla 44 se expresan los valores obtenidos del Análisis de la Varianza de las variables físico-químicas pH, coordenadas de color y magnitudes psicofísicas e índice de rojez, de la CAMR para los factores concentración de aditivo de lavado (lactato sódico) y número de lavados. En esta tabla, se puede apreciar que ambos factores resultaron significativos ( $P < 0,05$ ) para todas las variables consideradas.

Al resultar significativos estos factores para cada una de las variables, se procedió a aplicar el test de Tukey. En la tabla 45 se expresan los valores promedio de cada lavado para las coordenadas luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), índice de rojez y pH de la CAMR tras cada lavado y para las distintas concentraciones de lactato sódico ensayadas.

**Tabla 44.** Resultado del Análisis de la Varianza (ANOVA) de las variables físico-químicas pH, coordenadas de color y magnitudes psicofísicas e índice de rojez de la CAMR para los factores concentración de aditivo de lavado y número de lavados

| Variables | FACTORES         | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F      | P      |
|-----------|------------------|-------------------|--------------------|----------------|--------|--------|
| pH        | Conc. de aditivo | 2,584             | 3                  | 0,861          | 28,73  | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 3,517             | 6                  | 0,586          | 19,55  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 0,256             | 18                 | 0,014          | 0,47   | 0,9670 |
| L*        | Conc. de aditivo | 459,677           | 3                  | 153,226        | 37,32  | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 1403,580          | 6                  | 233,930        | 56,98  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 209,613           | 18                 | 11,645         | 2,84   | 0,0002 |
| a*        | Conc. de aditivo | 70,257            | 3                  | 23,419         | 121,46 | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 608,535           | 6                  | 101,422        | 53,96  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 56,170            | 18                 | 3,121          | 1,66   | 0,0480 |
| b*        | Conc. de aditivo | 4,867             | 3                  | 1,622          | 2,36   | 0,0420 |
|           | Nº Lavado        | 117,462           | 6                  | 19,577         | 28,52  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 22,381            | 18                 | 1,243          | 1,81   | 0,0251 |
| C*        | Conc. de aditivo | 42,734            | 3                  | 14,244         | 8,24   | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 601,762           | 6                  | 100,294        | 57,98  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 42,460            | 18                 | 2,359          | 1,36   | 0,1514 |
| H*        | Conc. de aditivo | 391,924           | 3                  | 130,641        | 14,60  | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 1096,450          | 6                  | 182,742        | 20,42  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 362,643           | 18                 | 20,147         | 2,25   | 0,0033 |
| a*/b*     | Conc. de aditivo | 1,278             | 3                  | 0,213          | 21,86  | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 0,402             | 6                  | 0,134          | 13,76  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 0,425             | 18                 | 0,024          | 2,42   | 0,0014 |

**Tabla 45.** Valores medios de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), índice de rojez y pH de la CAMR para los factores lavado y concentración de lactato sódico

|                |         | $L^*$  | $a^*$  | $b^*$  | $H^*$  | $C^*$  | $a^*/b^*$ | pH    |
|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|-------|
| LACTATO SÓDICO | Control | 51,03c | 12,02b | 10,82a | 41,99a | 16,17a | 1,11a     | 6,66b |
|                | 0,5%    | 46,48a | 11,18a | 13,01b | 47,29b | 17,42b | 1,01b     | 6,67b |
|                | 1,0%    | 47,71b | 11,81a | 12,74b | 46,80b | 17,65b | 0,93c     | 6,67b |
|                | 1,5%    | 47,92b | 11,98a | 13,10b | 46,64b | 17,87b | 0,91c     | 6,78c |
| LAVADO         | Control | 43,05a | 16,04b | 14,45c | 42,02a | 21,59a | 1,11a     | 6,73a |
|                | 1       | 51,16d | 12,11a | 13,38b | 43,75b | 20,13b | 0,96b     | 6,69b |
|                | 2       | 48,97d | 12,07a | 12,70a | 46,31c | 18,84c | 0,96b     | 6,68b |
|                | 3       | 47,66c | 11,87a | 12,81a | 49,21d | 17,58d | 0,96b     | 6,72a |
|                | 4       | 47,37c | 11,47a | 12,57a | 49,12d | 17,47d | 0,94b     | 6,72a |
|                | 5       | 47,27c | 11,47a | 12,49a | 48,86d | 17,65d | 0,90c     | 6,70a |
|                | 6       | 46,27b | 11,35a | 12,36a | 48,69d | 17,15d | 0,87c     | 6,70a |

a-c: Para cada factor, letras diferentes denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores medios

### Luminosidad ( $L^*$ )

Como se ha observado al emplear otros aditivos de lavado, al analizar el factor lavado, el test de Tukey mostró que, independientemente del número de lavados aplicados, el valor promedio de luminosidad ( $L^*$ ) se incrementó, presentándose diferencias significativas entre la muestra control y las muestras lavadas; no se presentaron diferencias significativas entre el valor de la  $L^*$  de los lavados 3, 4 y 5, ni entre los lavados 1 y 2, pero sí entre estos dos bloques y el resto. Además, puede observarse, en la tabla 45, que aunque todas las muestras lavadas presentaron valores de  $L^*$  superiores a la muestra control, conforme se incrementaba el número de lavados los valores de  $L^*$

disminuyeron. Este comportamiento estaría relacionado con las variaciones de pH de la CAMR a lo largo de los lavados. Como se puede observar en la tabla 46, los valores de pH de las muestras se incrementaron conforme se aumentaba el número de lavados. El efecto del pH sobre la CRA de la CAMR y la influencia de ambos factores sobre la luminosidad ya ha sido previamente discutida (apartado 4.1.3.1).

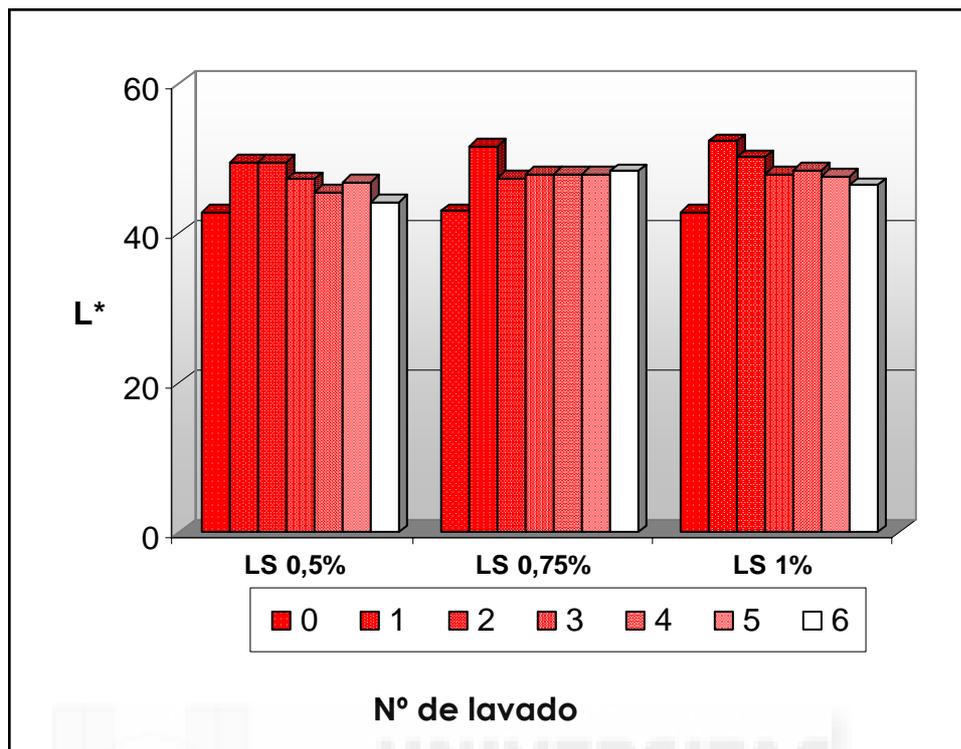
Al analizar el factor concentración de aditivo de lavado, se puede apreciar que, todas las muestras lavadas presentaron valores de luminosidad inferiores a la muestra control, aunque de forma similar a lo acontecido en el factor número de lavados, conforme se incrementaba la concentración de aditivo utilizada, los valores de  $L^*$  aumentaron. No se presentaron diferencias significativas entre los valores de esta coordenada en las muestras lavadas con 1% y 1,5%, pero sí entre éstas y los valores de la  $L^*$  en la muestra lavada con 0,5% de lactato sódico y en la muestra control. Observando la variación de los valores de pH en función de la concentración de aditivo, no se puede establecer la misma relación que en el caso del número de lavados, con lo cual estaría interviniendo algún otro efecto, bien sobre la matriz del producto o sobre los estados de los hemopigmentos, que estarían enmascarando las relaciones biunívocas descritas entre pH y luminosidad. El lactato sódico parecería ejercer un efecto “protector” sobre los hemopigmentos, reteniéndolos dentro de la estructura cárnica, hecho que se corroboraría al comprobar la muy baja extracción de proteínas de la CAMR tras su lavado con dicho aditivo (Tabla 45), en comparación con el cloruro sódico y el TPS (Tablas 34 y 41, respectivamente).

Si se comparan los valores de  $L^*$  de las muestras lavadas con lactato con los de las muestras lavadas con cloruro sódico y TPS (Tablas 34 y 41, respectivamente) se observa que este aditivo provoca un oscurecimiento (disminuye los valores de  $L^*$ ) de la CAMR en compa-

ración con los otros aditivos, lo cual descartaría “*a priori*” su utilización como aditivo de lavado. En el trabajo de Baublits *et al.* (2005) se menciona que muchos de los ingredientes utilizados en la industria cárnica, ya sea como aditivo-ingrediente directo o como auxiliar, pueden tener con respecto a la humedad y por ende a la  $L^*$  distintos comportamientos. En el primer caso, ciertos compuestos podrían tener un efecto directo sobre la retención en la matriz cárnica de humedad, o de otros componentes, sin que la fuerza iónica correspondiente al mismo sea lo suficientemente baja para contribuir a la solubilización de proteínas u otros componentes.

En la figura 36 se representa la interacción de los factores concentración y número de lavados para la coordenada luminosidad ( $L^*$ ) obtenidos en el proceso de lavado (en los lavados 0 a 6) para las tres concentraciones de lactato sódico empleadas (0,5, 1 y 1,5%). Al analizar la interacción concentración de aditivo y número de lavado, se puede apreciar que no existen diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los lavados 2, 3, 4 5 y 6; sí existen entre estos y el lavado 1 y la muestra control, para las tres concentraciones de lactato sódico empleadas.

Atendiendo al criterio de Reppond y Babbitt (1997), solo existen diferencias significativas entre los valores de la  $L^*$  de la muestra control y el resto de muestras lavadas (Tabla 35).



**Figura 36.** Representación gráfica de la interacción concentración de lactato sódico y número de lavados para la coordenada luminosidad ( $L^*$ )

Coordenada rojo-verde ( $a^*$ )

En la tabla 45 se observa el valor promedio de la coordenada rojo-verde para los factores concentración de aditivo y número de lavados, mientras que en la figura 37 se hace una representación gráfica de la interacción de ambos.

Al analizar el factor concentración (considerando en promedio el factor número de lavados) se puede apreciar que, independientemente de la concentración añadida, los valores de  $a^*$  disminuyeron con respecto al control, no encontrándose diferencias significativas entre las tres concentraciones de lactato sódico (Tabla 45).

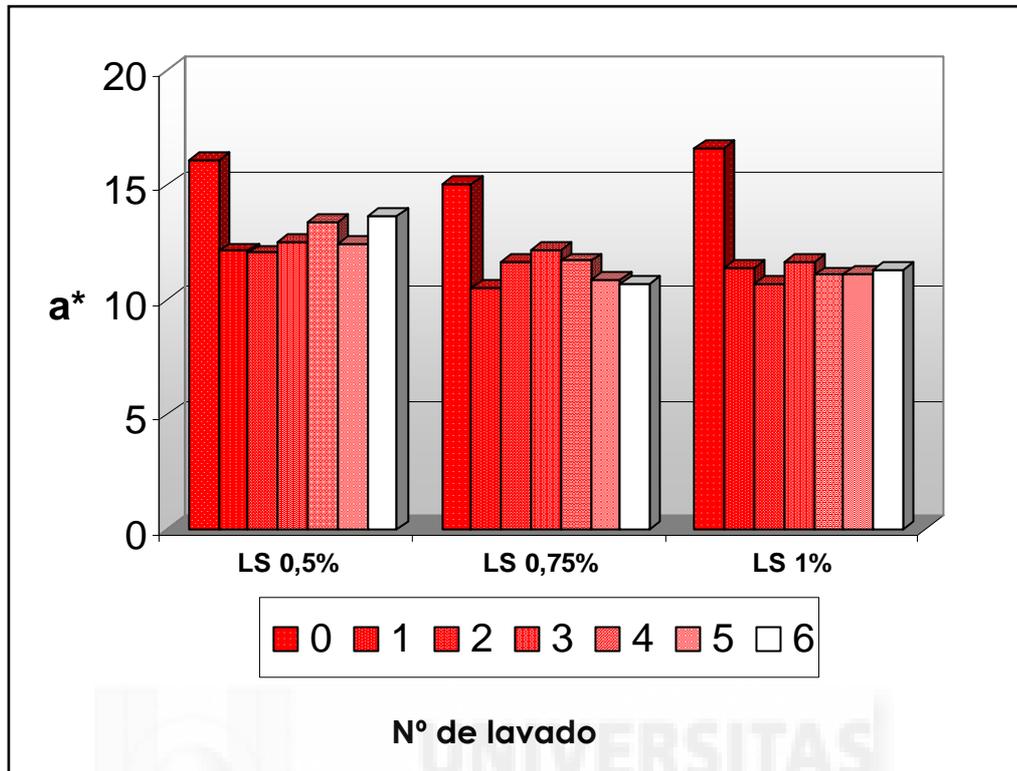
Al analizar el factor número de lavados (considerando en promedio el factor concentración), solo se encontraron diferencias significativas entre los valores de la coordenada rojo-verde de la carne sin lavar y la carne lavada, independientemente del número de lavados.

Comparando los valores de  $a^*$  de las muestras lavadas con lactato, con los de las muestras lavadas con cloruro sódico y TPS, se puede observar que el empleo de este aditivo es el que menor reducción de los valores de  $a^*$  provoca. Otro factor a tener en cuenta para descartar su aplicación como aditivo de lavado. El efecto del lactato sobre la retención de hemopigmentos en la matriz cárnica discutido ya en el apartado anterior ( $L^*$ ) explicaría dicho comportamiento.

En el estudio de Zheng Lu *et al.* (2005) se menciona que la incorporación de lactato sódico a embutidos, a concentraciones del 3-6% no provoca modificaciones en los valores de  $a^*$ .

En la figura 37 se representa la interacción de los factores concentración y número de lavados para la coordenada rojo-verde ( $a^*/b^*$ ) obtenidos en el proceso de lavado (en los lavados 0 a 6) para las tres concentraciones de lactato sódico empleadas (0,5, 1 y 1,5%).

La aplicación del criterio de Reppond-Babbitt (1997) a los valores de la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) de la CAMR después de cada lavado, para el lactato sódico, solo muestra diferencias entre la carne sin lavar y la lavada, pero no entre los diferentes lavados (Tabla 36).



**Figura 37.** Representación gráfica de la interacción concentración de lactato sódico y número de lavados para la coordenada rojo-verde ( $a^*$ )

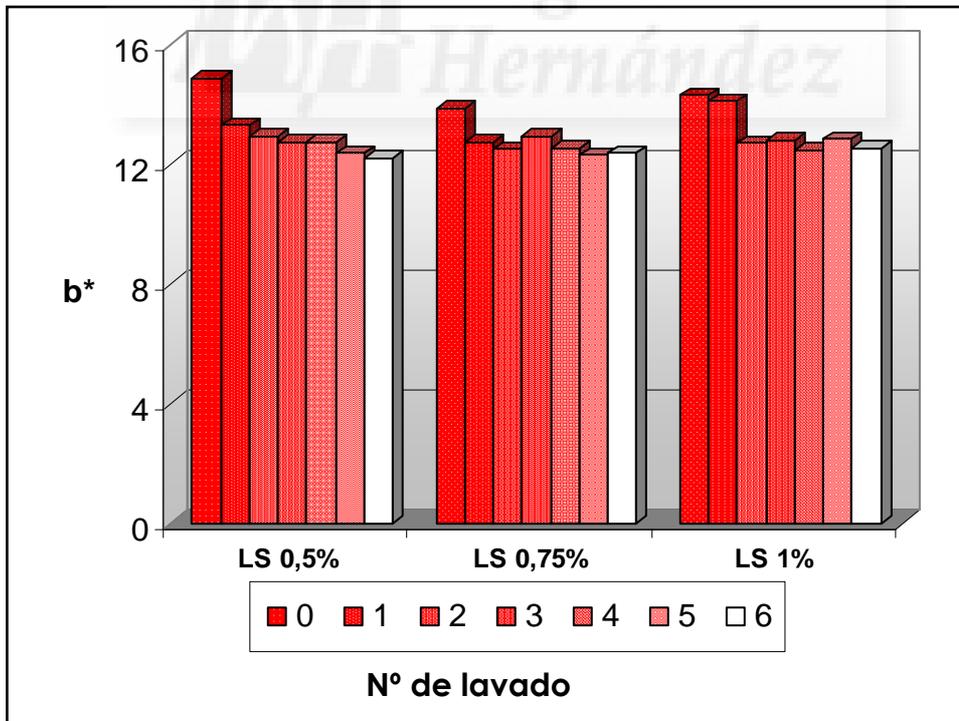
Coordenada amarillo-azul ( $b^*$ )

En la tabla 45 se observa el valor promedio de la coordenada amarillo-azul para los factores concentración de aditivo y número de lavados, mientras que en la figura 38 se hace una representación gráfica de la interacción de ambos.

Al analizar el factor concentración (considerando en promedio el factor número de lavados) se observa que sólo se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre las muestras control y las muestras lavadas con LS, pero no entre las distintas concentraciones de aditivo ensayadas ( $P > 0,05$ ). El lavado con lactato incrementó los valores de  $b^*$ , independientemente de la concentración de aditivo utilizada.

Al analizar el factor número de lavados (considerando en promedio el factor concentración de aditivo) se puede apreciar en la tabla 45, que independientemente del número de lavados aplicados, el valor promedio de la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ) disminuyó, encontrándose diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre la muestra control y la muestra lavada 1 vez y el resto de las muestras, no encontrándose diferencias significativas entre los valores de  $b^*$  de las carnes lavadas 2, 3, 4, 5 y 6 veces.

Como se mencionó en el apartado 4.2.2.1.2 la coordenada  $b^*$  se está relacionando actualmente con la estructura del producto cárnico. Bajo este criterio, los resultados aquí obtenidos corroborarían dicho hecho, ya que la concentración de este aditivo no modificó los valores de  $b^*$ .



**Figura 38.** Representación gráfica de la interacción concentración de lactato sódico y número de lavados para la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ )

Al analizar la interacción número de lavado-aditivo, de acuerdo al criterio de Reppond y Babbitt (1997) (Tabla 37), se puede apreciar que no se presentaron diferencias (valores superiores a la unidad) entre el valor de  $b^*$  de la muestra control y el de la muestra lavada 1 vez, ni tampoco entre la coordenada  $b^*$  de las muestras lavadas 2, 3, 4, 5 y 6, pero sí entre ambos bloques.

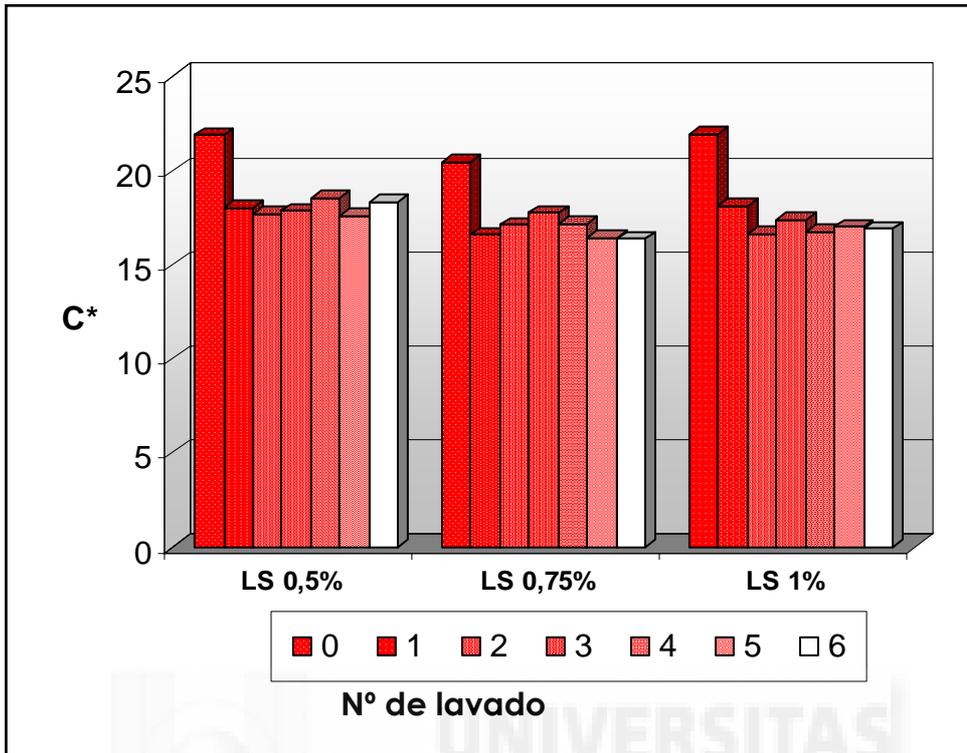
#### Magnitud psicofísica croma ( $C^*$ )

En la tabla 45 se observa el valor promedio de la magnitud psicofísica croma para los factores concentración de lactato y número de lavados, mientras que en la figura 39 se hace una representación gráfica de la interacción de ambos.

Al analizar el factor lavado, se puede apreciar, en la tabla 45, que independientemente del número de lavados aplicados, el valor promedio de  $C^*$  disminuyó, siendo esta disminución más acusada conforme se incrementaba el número de lavados. No se presentaron diferencias ( $P > 0,05$ ) entre los lavados 3, 4, 5 y 6, pero sí entre éstos y el resto.

Al analizar el factor concentración de aditivo de lavado, se puede apreciar que el lavado con lactato incrementó los valores de  $C^*$  (disminuye la componente gris del color del producto), independientemente de la concentración de aditivo utilizada.

Los resultados obtenidos para ambos factores indicarían que el croma de la CAMR lavada con este aditivo es  $b^*$  dependiente, y que por lo tanto, la saturación del color del producto estaría relacionada con todos los factores que afecten a esta coordenada.



**Figura 39.** Representación gráfica de la interacción concentración de lactato sódico y número de lavados para la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ )

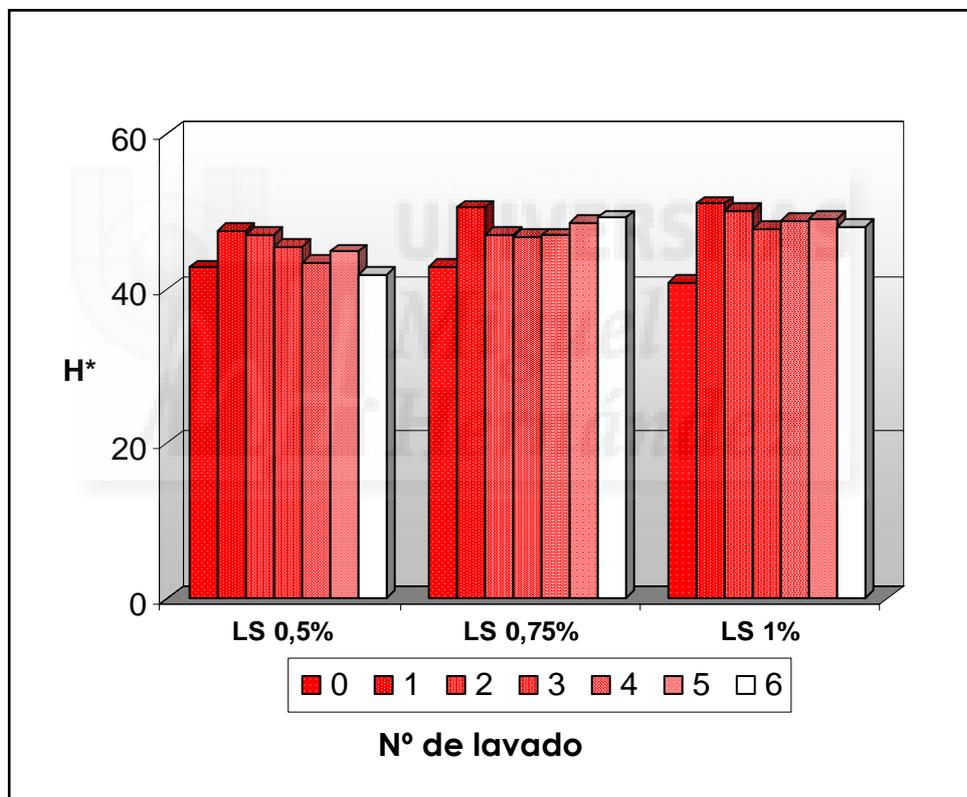
Magnitud psicofísica tono ( $H^*$ )

En la tabla 45 se observa el valor promedio de la magnitud psicofísica tono para ambos factores, mientras que en la figura 40 se hace una representación gráfica de la interacción de ambos.

Al analizar el factor lavado, se puede apreciar que, el valor de  $H^*$  aumentó por efecto del lavado con lactato, siendo dicho incremento mayor conforme se aumentaba el número de lavados. No se presentaron diferencias significativas entre los lavados 3, 4, 5 y 6, pero sí entre éstos y el resto.

Tanto para el factor lavado como para el factor concentración de lactato, los valores de tono de todas las muestras de CAMR están comprendidos en el rango de los tonos rojos (Instituto Nacional de Racionalización, 1981).

Al analizar el factor concentración de aditivo de lavado, se presentaron diferencias únicamente entre la muestra control, y las muestras lavadas con lactato pero no entre las diferentes concentraciones de aditivo ensayadas (Tabla 45).



**Figura 40.** Representación gráfica de la interacción concentración de lactato sódico y número de lavados para la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ )

Índice de rojez ( $a^*/b^*$ )

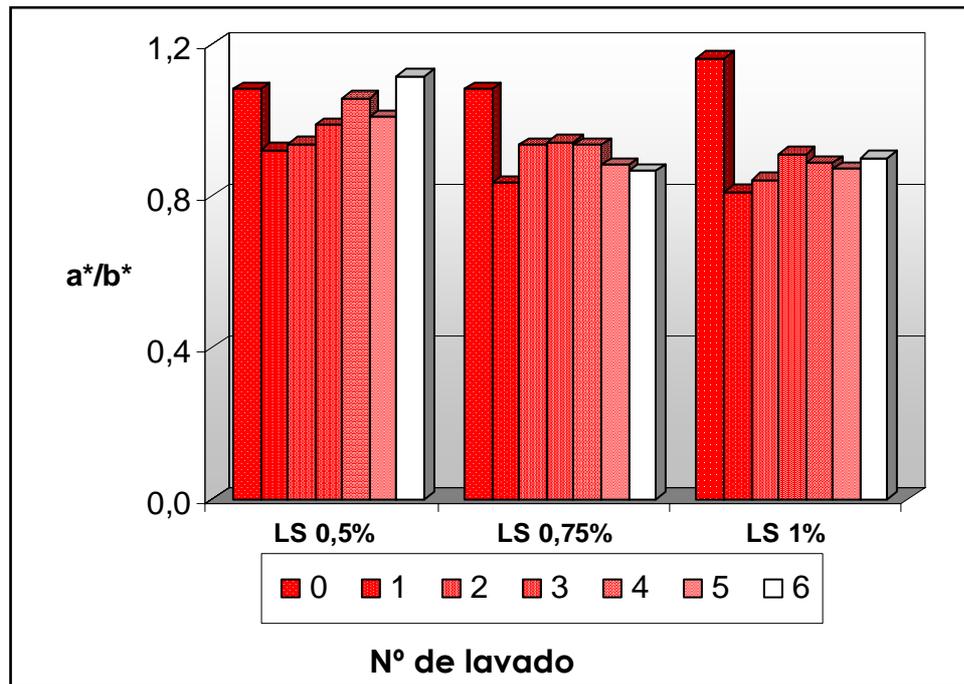
En la tabla 45 se observa el valor promedio del índice de rojez para los factores concentración de aditivo y número de lavados,

mientras que en la figura 41 se hace una representación gráfica de la interacción de ambos.

Al analizar el factor concentración de lactato (considerando en promedio el factor lavado), se observa que el proceso de lavado con dicho aditivo provocó una disminución ( $P < 0,05$ ) del índice de rojez, la cual fue más acusada cuanto mayor concentración de lactato se incorporó. No se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los valores del índice de rojez de CAMR lavada con 1 y 1,5% de lactato (Tabla 45).

Al analizar el factor lavado (considerando en promedio el factor concentración de aditivo), se puede apreciar que, el proceso de lavado disminuyó ( $P < 0,05$ ) los valores de  $a^*/b^*$ , aunque dicha disminución fue menor conforme se incrementó el número de lavados. No se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los valores del índice de rojez de las muestras lavadas 1, 2, 3 y 4 veces, ni entre las muestras lavadas 5 y 6 veces, pero sí entre estos bloques y la muestra control (Tabla 45).

Los valores del índice de rojez obtenidos para la CAMR lavada con lactato son, en todos los casos, superiores a los obtenidos para los lavados con cloruro sódico (Tabla 34), mientras que en el caso del TPS éste efecto no es tan evidente (Tabla 41), lo que podría indicar que para estos aditivos predominaría más el efecto de lavado que el del aditivo en sí mismo.



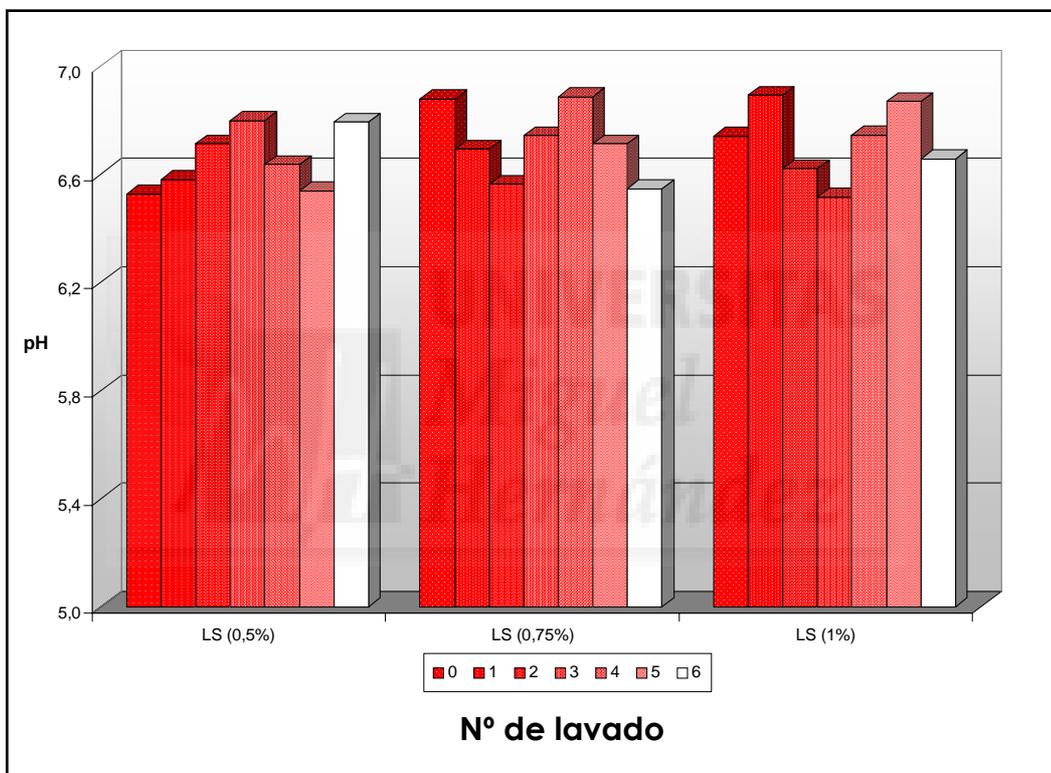
**Figura 41.** Representación gráfica de la interacción concentración de lactato sódico y número de lavados para el índice e rojez ( $a^*/b^*$ )

#### pH

En la tabla 45 se observa el valor promedio del pH para los factores concentración de aditivo y número de lavados, mientras que en la figura 42 se hace una representación gráfica de la interacción de ambos.

Al analizar el factor concentración de lactato (considerando en promedio el factor lavado), se observa que el proceso de lavado con dicho aditivo provocó un incremento ( $P < 0,05$ ) del pH únicamente para la concentración del 1,5%, siendo para esta última concentración para la que se obtuvieron los mayores valores de pH (Tabla 45).

Al analizar el factor lavado (considerando en promedio el factor concentración de aditivo), se puede apreciar que, el proceso de lavado disminuyó ( $P < 0,05$ ) los valores de pH únicamente para los lavados 1 y 2, volviéndose a incrementar el pH a partir del lavado 3, alcanzando niveles similares a los de las muestras sin lavar (Tabla 45). En comparación con los valores de pH obtenidos para las muestras lavadas con cloruro sódico y TPS, el lactato redujo los valores de este parámetro.



**Figura 42.** Representación gráfica de la interacción concentración de lactato sódico y número de lavados para el pH de la CAMR

#### 4.2.2.4. Ácido láctico

##### 4.2.2.4.1. Caracterización química de la CAMR lavada con ácido láctico

En la tabla 46 se expresan los valores obtenidos del Análisis de la Varianza de la composición química (cenizas, grasa, humedad y proteínas) de la CAMR, para el factor aditivo de lavado. En esta tabla, se puede apreciar que el factor estudiado resultó significativo ( $P < 0,01$ ) para todas las variables.

**Tabla 46.** Resultado del Análisis de la Varianza (ANOVA) del contenido en cenizas, grasa, humedad y proteínas de la CAMR para las distintas concentraciones de ácido láctico empleadas

| VARIABLES | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F       | P      |
|-----------|-------------------|--------------------|----------------|---------|--------|
| CENIZAS   | 0,831             | 3                  | 0,277          | 95,12   | 0,0000 |
| GRASA     | 201,720           | 3                  | 67,240         | 231,53  | 0,0000 |
| HUMEDAD   | 1780,680          | 3                  | 593,561        | 473,03  | 0,0000 |
| PROTEÍNAS | 933,510           | 3                  | 311,170        | 1863,09 | 0,0000 |

En la tabla 47 se presentan los valores promedio del contenido en proteínas, grasa, humedad y cenizas de la CAMR después del proceso de lavado.

**Tabla 47.** Valores medios del contenido en proteínas, grasa, humedad y cenizas de la CAMR después del proceso de lavado con las distintas concentraciones de ácido láctico empleadas

| ÁCIDO LÁCTICO (%) | PROTEÍNAS (%) | GRASA (%) | HUMEDAD (%) | CENIZAS (%) |
|-------------------|---------------|-----------|-------------|-------------|
| CONTROL           | 16,16d        | 16,00b    | 66,11a      | 1,07c       |
| 0,25%             | 6,44c         | 4,55a     | 88,77b      | 0,36b       |
| 0,50%             | 5,48b         | 4,42a     | 90,47c      | 0,24a       |
| 0,75%             | 3,38a         | 4,95a     | 91,61c      | 0,21a       |

a-c: Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores medios; % ( kg/100 kg de materia húmeda)

El lavado de la CAMR con ácido láctico provocó una gran disminución del contenido en proteínas (hasta un 80%), grasa (hasta un 75%) y cenizas (hasta un 80%), muy superior a la obtenida tras el lavado con los otros aditivos (cloruro sódico, TPS y lactato sódico). Mientras la disminución del contenido proteico fue dependiente de la concentración de aditivo utilizada, las modificaciones observadas en el contenido graso fueron independientes de dicho factor (Tabla 47). La disminución observada para todos estos componentes se vio compensada por un importante incremento del contenido en humedad. Varios autores han descrito en alimentos musculares (carne y pescado) que el grado de picado de la carne puede afectar tanto al contenido en humedad del producto como a la forma y distribución en que dicha agua queda retenida en la matriz muscular (Offer y Trinick, 1983). Se ha observado que la incorporación de ácidos orgánicos a la carne provoca una disminución del pH de la misma y por ende una disminución en su CRA (Fernández-López *et al.*, 2004). Si bien esta relación parece contradictoria con los resultados obtenidos en este estudio, otros autores han atribuido el incremento en la humedad de los productos cárnicos finamente picados tras la incorporación de estos ácidos, a la retención del agua de lavado en la estructura proteica

del mismo (agua libre), más que realmente a un incremento en el contenido real de humedad.

#### 4.2.2.4.2. Caracterización físico-química de la CAMR lavada con ácido láctico

En la tabla 48 se expresan los valores obtenidos del Análisis de la Varianza de las variables físico-químicas pH, coordenadas de color y magnitudes psicofísicas e índice de rojez de la CAMR para los factores concentración de ácido láctico y número de lavados. En esta tabla, se puede apreciar que ambos factores resultaron significativos ( $P < 0,01$ ) para todas las variables consideradas.



**Tabla 48.** Resultado del Análisis de la Varianza (ANOVA) de las variables físico-químicas pH, coordenadas de color y magnitudes psicofísicas e índice de rojez de la CAMR para los factores concentración de aditivo de lavado y número de lavados

| Variables | FACTORES         | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F      | P      |
|-----------|------------------|-------------------|--------------------|----------------|--------|--------|
| pH        | Conc. de aditivo | 300,474           | 3                  | 100,158        | 31,88  | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 3810,890          | 6                  | 635,149        | 202,15 | 0,0000 |
|           | Interacción      | 742,918           | 18                 | 41,273         | 13,14  | 0,0000 |
| L*        | Conc. de aditivo | 2578,930          | 3                  | 859,644        | 587,81 | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 6067,560          | 6                  | 1011,260       | 691,48 | 0,0000 |
|           | Interacción      | 1246,710          | 18                 | 69,262         | 47,36  | 0,0000 |
| a*        | Conc. de aditivo | 2578,930          | 3                  | 859,644        | 587,81 | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 6067,560          | 6                  | 1011,260       | 691,48 | 0,0000 |
|           | Interacción      | 1246,710          | 18                 | 69,262         | 47,36  | 0,0000 |
| b*        | Conc. de aditivo | 419,674           | 3                  | 139,891        | 166,24 | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 929,766           | 6                  | 154,961        | 184,15 | 0,0000 |
|           | Interacción      | 187,031           | 18                 | 10,391         | 12,35  | 0,0000 |
| C*        | Conc. de aditivo | 1620,020          | 3                  | 540,007        | 324,04 | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 4409,800          | 6                  | 734,966        | 441,03 | 0,0000 |
|           | Interacción      | 741,199           | 18                 | 41,178         | 24,71  | 0,0000 |
| H*        | Conc. de aditivo | 118137,000        | 3                  | 39378,800      | 32,93  | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 13986,000         | 6                  | 22664,400      | 18,96  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 229438,000        | 18                 | 12746,600      | 10,66  | 0,0000 |
| a*/b*     | Conc. de aditivo | 16,899            | 3                  | 5,633          | 668,59 | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 29,626            | 6                  | 4,938          | 586,06 | 0,0000 |
|           | Interacción      | 8,379             | 18                 | 0,466          | 55,25  | 0,0000 |

En la tabla 49 se expresan los valores promedio para las coordenadas luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), índice de rojez y pH de la CAMR para los factores concentración de ácido láctico (considerando en promedio el número de lavados) y número de lavados (considerando en promedio la concentración de ácido láctico añadida).

**Tabla 49.** Valores medios de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), índice de rojez y pH de la CAMR para los factores número de lavados y concentración de ácido láctico

|               |         | $L^*$  | $a^*$  | $b^*$  | $H^*$  | $C^*$  | $a^*/b^*$ | pH    |
|---------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|-------|
| Ácido Láctico | Control | 50,22a | 12,28d | 12,86c | 46,32a | 17,79c | 0,96d     | 6,51a |
|               | 0,25%   | 53,30c | 6,68c  | 10,81b | 58,29b | 12,71b | 0,62c     | 5,14b |
|               | 0,50%   | 51,89b | 5,97b  | 10,66b | 60,77b | 12,22b | 0,56b     | 4,78c |
|               | 0,75%   | 51,71b | 3,55a  | 9,24a  | 68,98c | 9,90a  | 0,38a     | 4,23d |
| Nº de Lavado  | 0       | 42,58a | 16,95f | 14,56f | 40,66a | 22,34e | 1,16g     | 6,33g |
|               | 1       | 51,03b | 11,43e | 12,73e | 48,06b | 17,11d | 0,90f     | 5,83f |
|               | 2       | 53,06c | 6,97d  | 11,12d | 57,91c | 13,12c | 0,63e     | 5,17e |
|               | 3       | 53,53c | 5,23c  | 10,09c | 62,67d | 11,38b | 0,52d     | 4,88d |
|               | 4       | 54,10c | 3,72b  | 9,62b  | 68,85e | 10,31a | 0,39c     | 4,77c |
|               | 5       | 54,17c | 3,21b  | 9,35b  | 70,9e  | 9,85a  | 0,34b     | 4,65b |
|               | 6       | 54,00c | 2,34a  | 8,83a  | 75,18f | 9,13a  | 0,26a     | 4,52a |

a-g: Para cada factor, letras diferentes denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores medios

### Coordenada luminosidad (L\*)

Al analizar la coordenada luminosidad (L\*), se puede apreciar (tabla 48) que ambos factores, y su interacción, resultaron significativos. En la tabla 49 se observa el valor promedio de la coordenada luminosidad para ambos factores, mientras que en la figura 43 se hace una representación gráfica de la interacción de ambos.

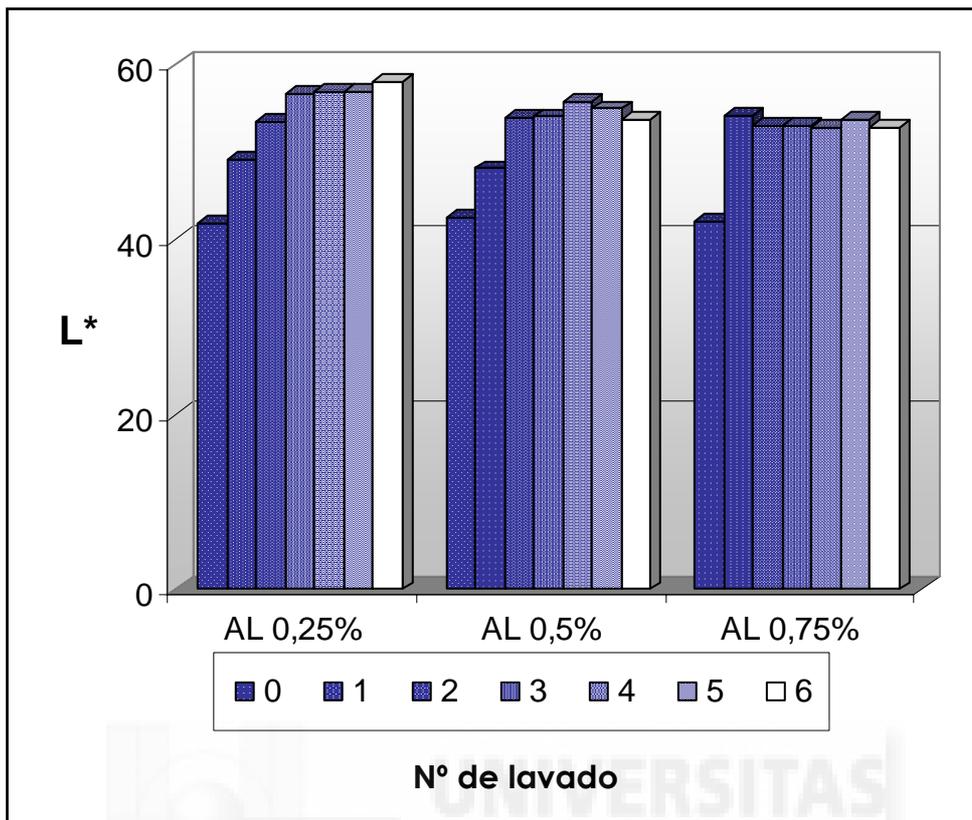
Al analizar el factor concentración de aditivo de lavado, el test de Tukey no encontró diferencias significativas entre la concentración de 0,50% y 0,75%, pero sí entre éstas y el resto. Al analizar, en promedio, los valores, se observó que la menor luminosidad se presentó para las muestras sin la adición de este ácido, aumentando los valores por la incorporación del mismo, independientemente de la concentración añadida. Cabría esperar que el mayor valor de L\* se obtuviese para la concentración de ácido más elevada, sin embargo se observó que esta mayor luminosidad se presentó en las muestras con un 0,25% de ácido láctico, presentando la concentración del 0,75% un valor inferior a éste. Este comportamiento se debería a que esta mayor concentración de ácido provocó un mayor descenso en los valores del pH (tabla 49). La concentración del 0,75% redujo los valores del pH de la carne hasta un valor de 4,23, valor inferior a los puntos isoelectrónicos de las proteínas miofibrilares (actina 4,7, miosina 5,4) (Wismer-Pedersen, 1994), mientras que la concentración de un 0,25% redujo los valores de pH de la carne hasta un valor de 5,14, el cual es inferior únicamente al punto isoelectrónico de la miosina. Teniendo en cuenta el comportamiento de la CRA frente al pH (Girard, 1991) se puede suponer que, en el caso de la concentración de 0,25% de ácido láctico, al estar próximo al punto isoelectrónico de la actina, la estructura continúa expulsando agua de su interior, y de ahí que se presente una mayor luminosidad por incremento del agua libre (Hunt y Kroph, 1980). En el caso de la concentración del 0,75% al sobrepasar los puntos isoe-

léctricos de ambas proteínas miofibrilares, la CRA se incrementa, por lo que estas muestras presentaron una menor cantidad de agua libre en la superficie, lo cual disminuyó su luminosidad. También se debe tener en cuenta, no solamente el agua libre sino la estructura, ya que según García-Marcos *et al.* (1996) las fibras musculares pueden contraerse por la desnaturalización provocada por este ácido.

En el estudio realizado por Pérez-Alvarez *et al.* (1997) sobre el efecto del pH en la  $L^*$  de la carne, se señala que una vez sobrepasado el punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares los valores de la  $L^*$  no se ven modificados por un mayor descenso del pH. Estos resultados justificarían lo observado por García-Marcos *et al.* (1996) y Cartagena (1997) tras la incorporación de un 5% de ácido láctico a carne y un 5% de ácido acético a mezclas de corazón y pulmón, respectivamente, concentración que en ambos casos hizo disminuir el pH a valores inferiores al punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares.

Al analizar el factor número de lavados, el test de Tukey señaló que no se presentaron diferencias significativas entre los lavados 2, 3, 4, 5 y 6, pero sí entre éstos y el resto. Al igual que para el resto de aditivos de lavado ensayados, el incremento del número de lavados incrementó los valores de  $L^*$ . Sin embargo, cabe destacar cómo la incorporación de cloruro sódico produjo una mayor claridad de las pastas que el uso de TPS, lactato sódico y ácido láctico (tablas 34, 41, 45 y 49). La utilización de ácido láctico y TPS produjo valores similares de  $L^*$ .

De acuerdo al criterio de Reppond y Rabbitt (1997) (tabla 35) únicamente las muestras sin lavar y el lavado 1 presentaron diferencias de esta coordenada mayores a la unidad.



**Figura 43.** Representación gráfica de la interacción concentración de ácido láctico y número de lavados para la coordenada luminosidad ( $L^*$ )

#### Coordenada rojo-verde ( $a^*$ )

Al analizar la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), se puede apreciar (tabla 48) que, ambos factores y su interacción, resultaron significativos. Al resultar significativos, se aplicó el test de Tukey. En la tabla 49 se observa el valor promedio de la coordenada rojo-verde para ambos factores, mientras que en la figura 44 se hace una representación gráfica de la interacción de ambos.

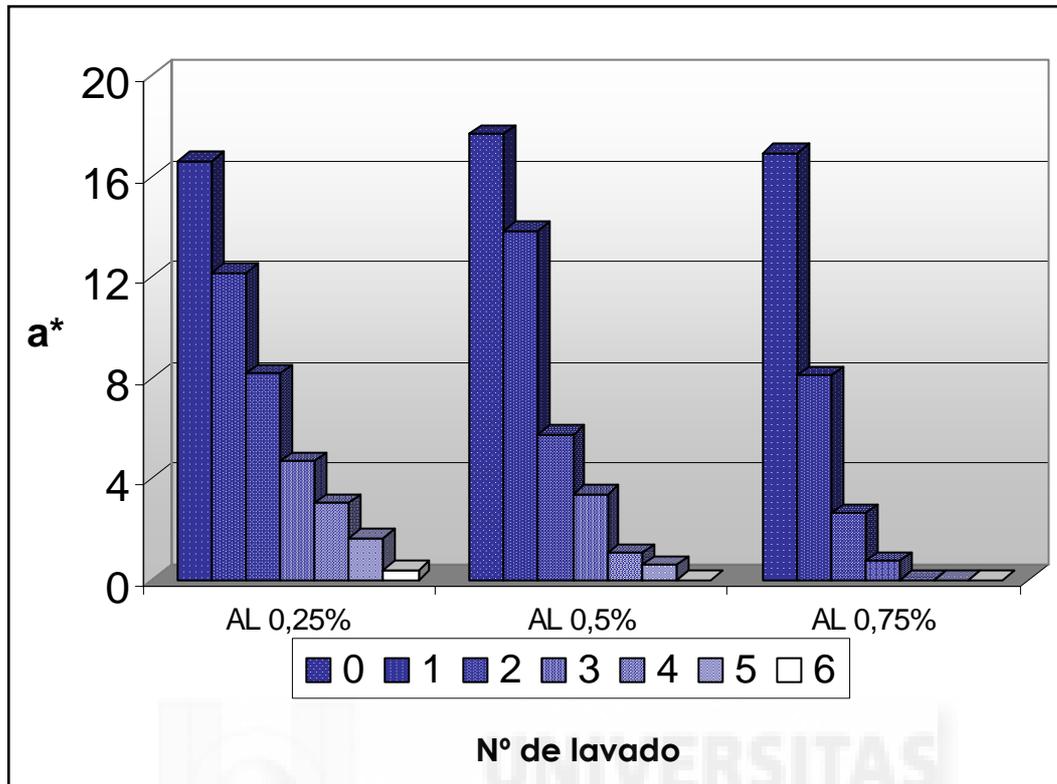
Al analizar el factor concentración se puede apreciar que, independientemente de la concentración añadida, los valores de  $a^*$  disminuyeron ( $P < 0,05$ ) con respecto al control, existiendo diferencias significativas entre los valores de  $a^*$  para las tres concentraciones es-

tudiadas y el control. El descenso de los valores de  $a^*$  por efecto del ácido láctico se debería a la desnaturalización de la Mb (Varnam y Sutherland, 1998), efecto observable visualmente tras la incorporación de este ácido.

Al analizar el factor número de lavados, se puede apreciar que, independientemente del número de lavados aplicados, el valor de esta coordenada disminuyó. Este efecto está parcialmente descrito en el apartado 4.2.1.4. No obstante, hay que destacar que la adición del ácido láctico provocó los mayores descensos del valor de  $a^*$ , en comparación con el resto de aditivos, cloruro sódico, TPS y lactato sódico (Tablas 34, 41 y 45, respectivamente). Si para la elección del aditivo ideal de lavado se tuviese únicamente en cuenta la reducción del valor de esta coordenada, el ácido láctico sería el aditivo más adecuado.

Al analizar la interacción número de lavado-concentración de aditivo, se presentaron diferencias significativas entre todos los lavados para todas las concentraciones, exceptuando los lavados 4, 5, y 6 en el caso de la concentración del 0,75%.

Atendiendo al criterio de Reppond-Babbitt (1997), los valores de la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) de la CAMR después de cada lavado, empleando como aditivo de lavado el ácido láctico (tabla 36), los únicos lavados que no presentaron diferencias superiores a la unidad fueron los lavados 4 y 5.



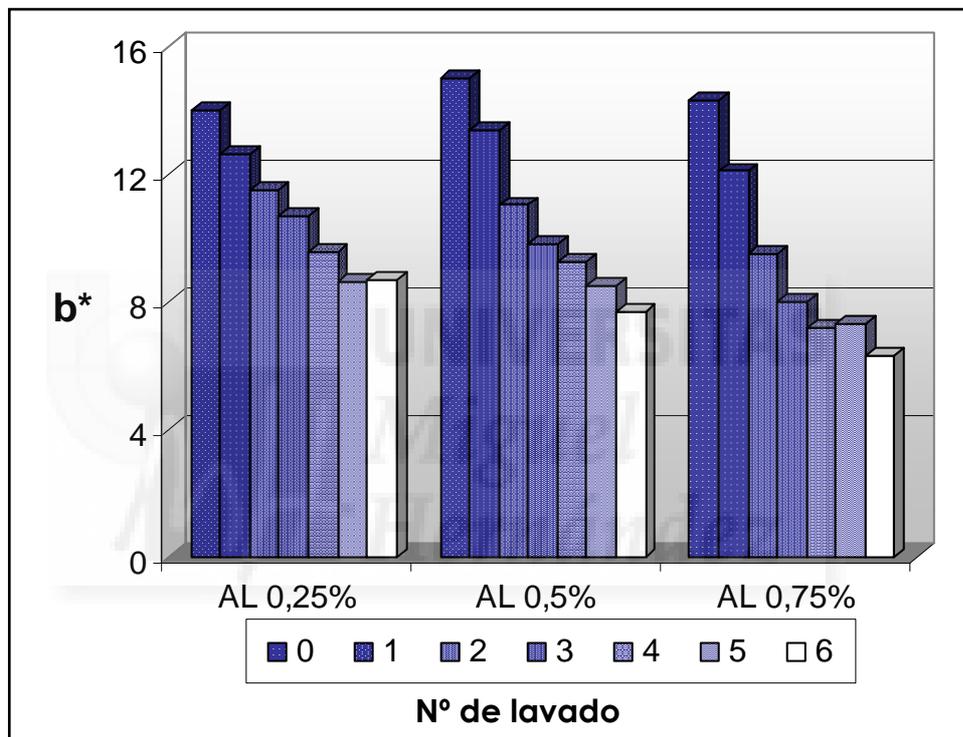
**Figura 44.** Representación gráfica de la interacción concentración de ácido láctico y número de lavados para la coordenada rojo-verde ( $a^*$ )

#### Coordenada amarillo-azul ( $b^*$ )

Para el factor concentración de ácido láctico, el test de Tukey encontró diferencias significativas entre las muestras lavadas sin ácido láctico y las muestras con este ácido, pero no entre las concentraciones de 0,25% y 0,5% ( $P > 0,05$ ). Independientemente de la concentración de ácido añadida, los valores de  $b^*$  disminuyeron. Este descenso podría deberse, a la transformación de la Mb en MMb por autooxidación de la misma favorecido por los bajos pH originados al incorporar el ácido láctico (Varnam y Sutherland, 1998). No obstante, esta desnaturalización podría no afectar a toda la Mb presente, pues Varnam y Sutherland (1995) señalaron que otros procesos (calor) que provocan desnaturalización de la Mb podrían no desnaturalizar la Mb en su

totalidad, fenómeno que podría estar también ocurriendo con el ácido láctico.

Al analizar el efecto número de lavados (tabla 49) se presentaron diferencias significativas entre todas las muestras, excepto entre los lavados 4 y 5. Al igual que lo sucedido con el resto de aditivos ensayados, el proceso de lavado disminuyó los valores de esta coordenada ( $P < 0,05$ ).



**Figura 45.** Representación gráfica de la interacción concentración de ácido láctico y número de lavados para la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ )

Al analizar la interacción concentración de aditivo de lavado-número de lavados, se presentaron diferencias significativas entre los valores de  $b^*$  de todas las muestras, para las tres concentraciones estudiadas, salvo en el caso de la concentración del 0,25% (lavados 5 y 6) y 0,75% (lavados 4 y 5).

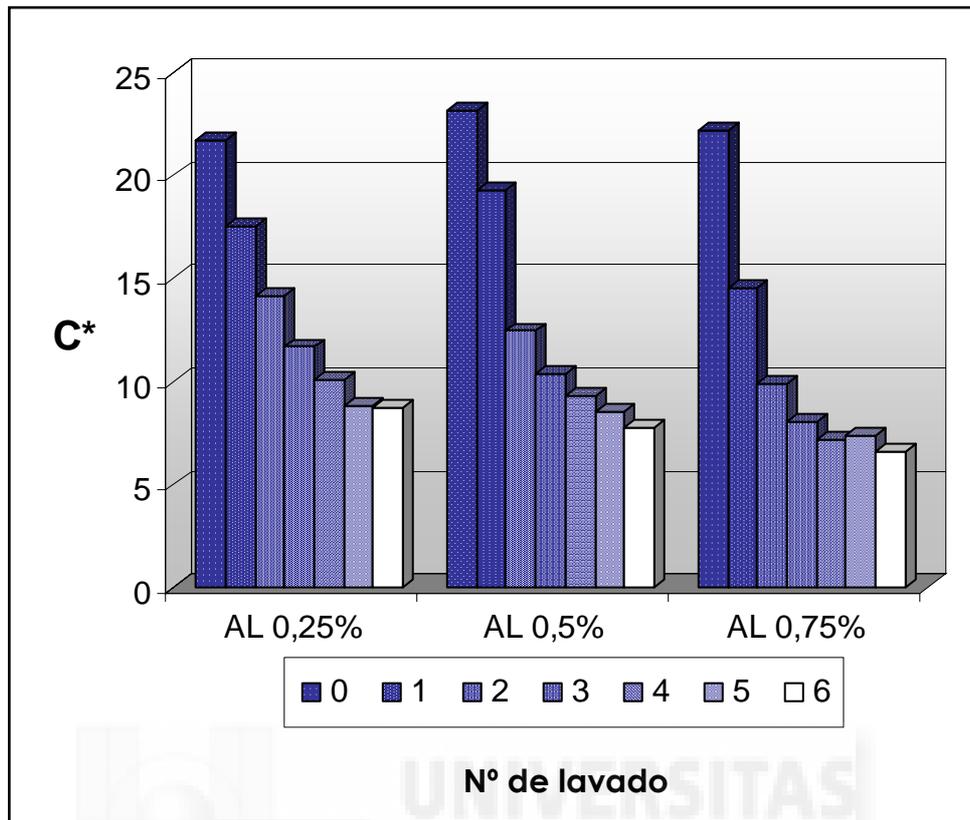
De los resultados expuestos en la tabla 37, de aplicación del criterio de Reppond-Babbitt (1997), se observa que no existen diferencias superiores a la unidad entre los valores de  $b^*$  de las muestras lavadas 4, 5 y 6 veces, pero sí entre éstos y el resto.

#### Magnitud psicofísica croma ( $C^*$ )

Al analizar el factor ácido láctico, el test de Tukey no encontró diferencias significativas entre las muestras lavadas con un 0,25% y un 0,5% de ácido láctico, pero sí entre éstas y el resto (Tabla 49). Al analizar, en promedio, los datos se observó que el croma disminuyó al incorporar el ácido láctico, siendo esta disminución mayor, a mayor concentración de ácido añadido.

Al analizar el efecto número de lavados (tabla 49) no se presentaron diferencias significativas entre los lavados 4, 5 y 6, pero sí entre éstos y el resto. Al igual que en los aditivos anteriores, el proceso de lavado disminuyó la saturación de las muestras (aumentó la componente gris del color).

En la figura 46 se representa la interacción concentración de aditivo de lavado-número de lavados. Se presentaron diferencias significativas entre los valores de  $C^*$  de todas las muestras, para las tres concentraciones estudiadas, salvo en el caso de la concentración del 0,25% (lavados 5 y 6) y del 0,75% (lavados 4 y 5). Tras este análisis parece claro que el efecto del lavado sobre la saturación predomina sobre el efecto de la concentración de aditivo añadida.



**Figura 46.** Representación gráfica de la interacción concentración de ácido láctico y número de lavados para la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ )

#### Magnitud psicofísica tono ( $H^*$ )

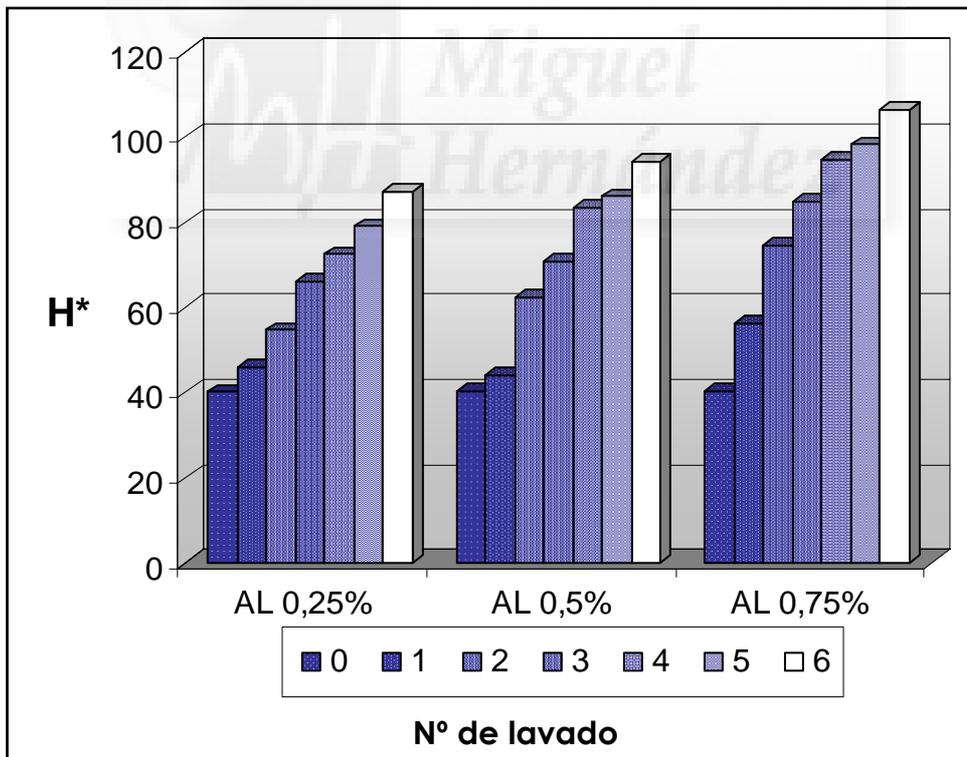
Para el factor ácido láctico, el test de Tukey no encontró diferencias significativas entre las muestras lavadas con un 0,25% y un 0,5% de ácido láctico, pero sí entre éstas y el resto. Al analizar en promedio los datos se observó que el tono aumentó al incorporar el ácido láctico, siendo este aumento mayor cuanto mayor fue la concentración de ácido añadido (Tabla 49).

Para el factor número de lavados (Tabla 49) no se presentaron diferencias significativas entre los lavados 4 y 5 pero sí entre éstos y el resto. El proceso de lavado incrementó los valores del tono de la CAMR. Este incremento estaría relacionado tanto con la disminución

del contenido en hemopigmentos, como se mencionó en apartados anteriores, como por las modificaciones en la proporción de sus diferentes estados (oxidado, oxigenado y reducido) que sobre ellos provoca la incorporación del ácido láctico.

Para ambos factores los tonos de la CAMR quedaron comprendidos en el rango de los tonos rojos (30-60) y naranjas (60-90).

La interacción concentración de aditivo de lavado-número de lavados, señaló que se presentaron diferencias significativas entre los valores de  $H^*$  de todas las muestras, para las tres concentraciones estudiadas, salvo en el caso de la concentración del 0,25% (lavados 5 y 6) y 0,75% (lavados 4 y 5) (figura 47).



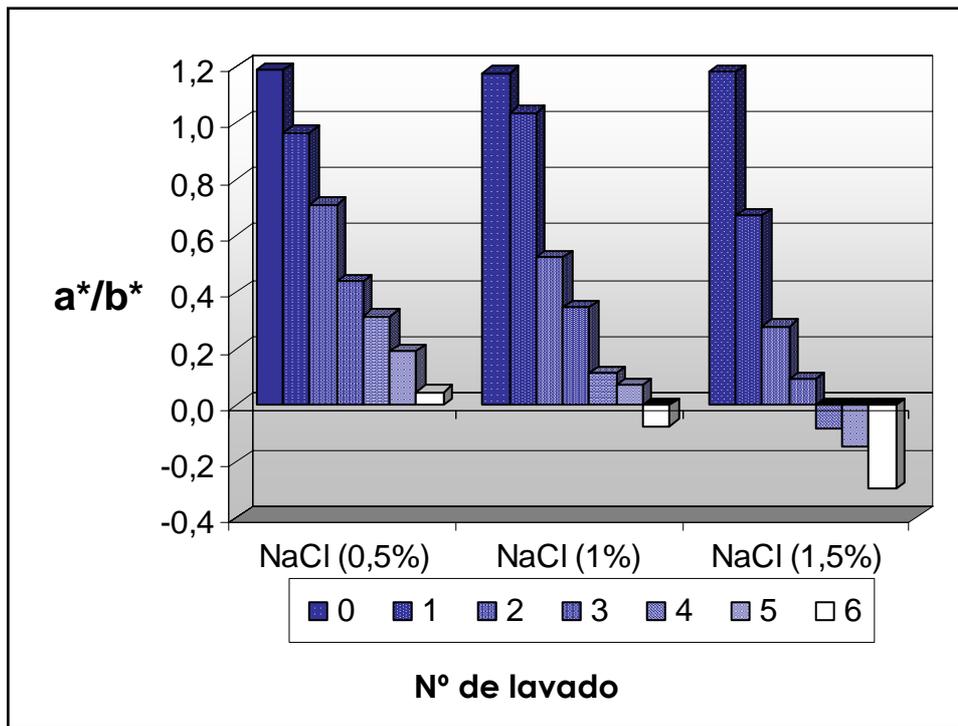
**Figura 47.** Representación gráfica de la interacción concentración de ácido láctico y número de lavados para la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ )

### Índice de rojez ( $a^*/b^*$ )

Para el factor ácido láctico (considerando en promedio el número de lavados), el test de Tukey encontró diferencias significativas entre todas las muestras. La rojez disminuyó al incorporar el ácido láctico, siendo esta disminución mayor cuanto mayor fue la concentración de ácido añadida (tabla 49). El descenso en este índice se debe fundamentalmente a la labilidad de la componente roja del color por efecto del ácido.

Para el factor número de lavados (considerando en promedio el factor concentración) se presentaron diferencias significativas entre todas las muestras (tabla 49). El índice de rojez disminuyó con el número de lavados. Si se comparan los valores de  $a^*/b^*$  con los obtenidos para el resto de aditivos de lavado ensayados, el ácido láctico es el que menores valores obtiene, hecho que podría utilizarse para su elección como aditivo de lavado.

En la figura 48 se representa la interacción concentración de aditivo de lavado-número de lavados. El análisis de la interacción de ambos factores señaló que se presentaron diferencias significativas entre los valores del índice de rojez de todas las muestras, para las tres concentraciones estudiadas.



**Figura 48.** Representación gráfica de la interacción concentración de ácido láctico y número de lavados para el índice de rojez ( $a^*/b^*$ )

#### pH

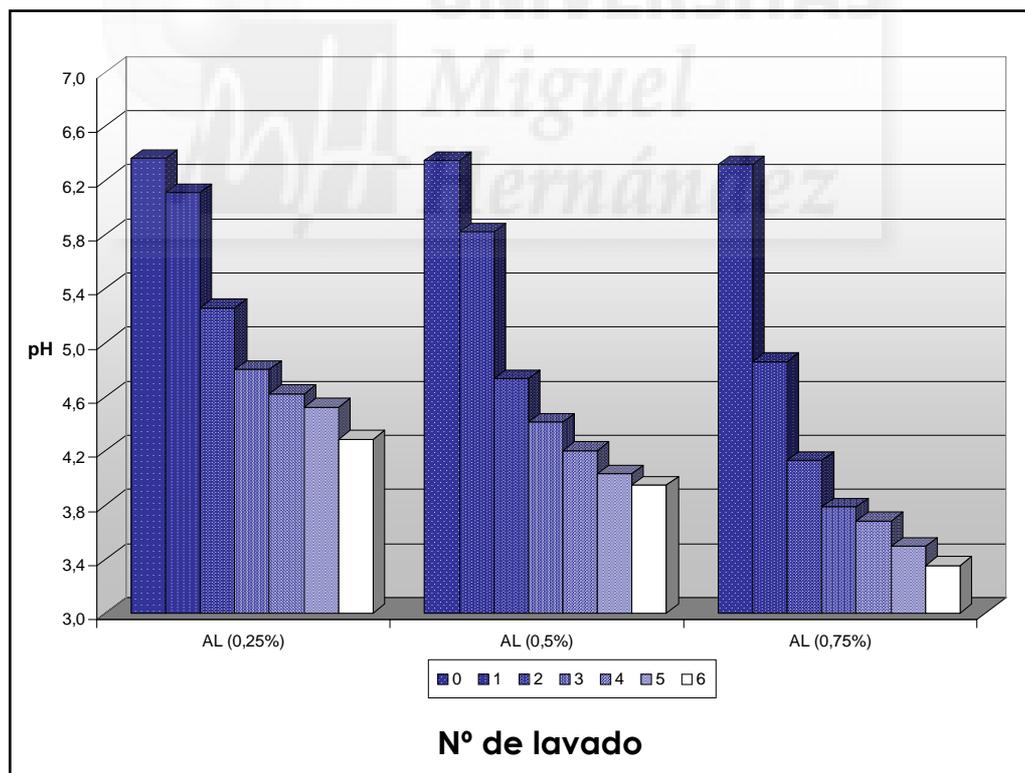
Para el factor ácido láctico (considerando en promedio el número de lavados), el test de Tukey encontró diferencias significativas entre todas las muestras. El pH disminuyó al incorporar el ácido láctico, siendo esta disminución mayor cuanto mayor fue la concentración de ácido añadida (tabla 49). La adición de ácido láctico, a cualquiera de las concentraciones añadidas, provocó valores de pH inferiores al punto isoeléctrico de la miosina (5,4, según Wismer-Pedersen, 1994). Sin embargo, para superar el punto isoeléctrico de la actina (4,7, según Wismer-Pedersen, 1994) se necesitaron concentraciones superiores al 0,5%. Resultados similares han sido descritos en pastas de sistemas modelo de embutidos crudo-curados (Fernández-López *et al.*, 2004).

Para el factor número de lavados (considerando en promedio

el factor concentración) se presentaron diferencias significativas entre todas las muestras. El pH disminuyó con el número de lavados (tabla 49).

El pH obtenido tras la incorporación de este aditivo alcanzó los valores más bajos, en comparación con el resto de aditivos analizados. En la figura 49 se representa la interacción concentración de aditivo de lavado-número de lavados para el pH.

Al analizar la interacción concentración de aditivo y número de lavados (figura 48), se puede apreciar que existieron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre todos los lavados para cada una de las concentraciones estudiadas.



**Figura 49.** Representación gráfica de la interacción concentración de ácido láctico y número de lavados para el pH de la CAMR

#### 4.2.2.5. Bicarbonato sódico

##### 4.2.2.5.1. Caracterización química de la CAMR lavada con bicarbonato sódico

En la tabla 50 se expresan los valores obtenidos del Análisis de la Varianza de la composición química (cenizas, grasa, humedad y proteínas) de la CAMR, para el factor aditivo de lavado. En esta tabla, se puede apreciar que el factor estudiado resultó significativo ( $P < 0,01$ ) para todas las variables.

**Tabla 50.** Resultado del Análisis de la Varianza (ANOVA) del contenido en cenizas, grasa, humedad y proteínas de la CAMR para las distintas concentraciones de bicarbonato sódico empleadas

| VARIABLES | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F       | P      |
|-----------|-------------------|--------------------|----------------|---------|--------|
| CENIZAS   | 3,523             | 4                  | 0,881          | 302,77  | 0,0000 |
| GRASA     | 987,514           | 4                  | 246,878        | 396,44  | 0,0000 |
| HUMEDAD   | 5345,470          | 4                  | 1336,370       | 50,80   | 0,0000 |
| PROTEÍNAS | 1716,260          | 4                  | 429,066        | 1913,28 | 0,0000 |

Al resultar significativo este factor para cada una de las variables, se procedió a aplicar el test de Tukey. En la tabla 51 se presentan los valores medios del contenido en proteínas, grasa, humedad y cenizas de la CAMR después del proceso de lavado.

**Tabla 51.** Valores medios del contenido en proteínas, grasa, humedad y cenizas de la CAMR después del proceso de lavado con las distintas concentraciones de bicarbonato sódico empleadas

| BICARBONATO SÓDICO (%) | PROTEÍNAS (%) | GRASA (%) | HUMEDAD (%) | CENIZAS (%) |
|------------------------|---------------|-----------|-------------|-------------|
| CONTROL                | 16,16d        | 16,00b    | 66,11a      | 1,07c       |
| 0,25%                  | 6,44c         | 4,55a     | 88,77b      | 0,36b       |
| 0,50%                  | 5,48b         | 4,42a     | 87,24b      | 0,24a       |
| 0,75%                  | 3,38a         | 4,95a     | 91,61c      | 0,21a       |

a-c: Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores medios; % (kg/100 kg de materia húmeda)

Al analizar el factor concentración de aditivo de lavado, el test de Tukey señaló que se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en el contenido en proteínas de todas las muestras (Tabla 51), disminuyendo conforme se incrementaba la concentración de aditivo incorporada. Los estudios efectuados en *surimi* de pescado señalaron que cuando se utiliza el bicarbonato de sodio, a concentraciones mayores al 1%, como aditivo de las aguas de lavado, la retención de proteínas durante el proceso de lavado es mayor. En este trabajo, se ha observado un efecto inverso. Este comportamiento podría deberse más al efecto de la concentración del BS, ya que la solubilidad de las proteínas miofibrilares varía en función de la concentración de este aditivo tal y como demostraron Li y Lee (1999). Además, estos autores señalan que la adición de BS favorece que en el primer ciclo de lavado se eliminen la mayor cantidad de proteínas sarcoplásmicas, que en el caso de la CAMR estaría compuesta por parte de los hemopigmentos, como se ha mencionado anteriormente. Cabe destacar que en el caso de las masas musculares de pescado la adición de BS a concentraciones menores al 1% no tiene un marcado efecto sobre las proteínas: En la CAMR ocurre un efecto inverso ya que, a mayor concentración de este aditivo, se obtiene un menor rendimiento.

Al analizar el factor concentración de aditivo de lavado, el test de Tukey señaló que se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en el contenido en grasa de las muestras lavadas con bicarbonato sódico y la muestra control, pero no entre las distintas concentraciones estudiadas ( $P > 0,05$ ) (Tabla 51). En los estudios de Dawson *et al.*, (1988), sobre el lavado de la CAMR utilizando como aditivos de lavado, el bicarbonato sódico (BS) (0,5%) y una solución tampón de acetato (0,1%), se mostraba que el contenido total de grasa de la CAMR se reducía significativamente debido al proceso de lavado. En los trabajos de Lindsay (1985) y de Li y Lee (1999) se menciona que este efecto se debe a que este aditivo provee un ambiente alcalino que favorece la eliminación de la grasa.

Al analizar el contenido de humedad de las muestras tratadas con este aditivo, se observa que no se presentaron diferencias significativas entre las muestras lavadas con 0,25 y 0,50% de BS, pero sí entre éstas y el resto, incrementándose los valores por efecto de la concentración. Este mismo resultado ha sido descrito por Li y Lee (1999). Estos autores y Lindsay (1985) explican que este fenómeno se debe en parte a las propiedades alcalinas del BS, y a su efecto sobre la CRA de las proteínas cárnicas.

#### 4.2.2.5.2. Caracterización físico-química de la CAMR lavada con bicarbonato sódico

En la tabla 52 se expresan los valores obtenidos del Análisis de la Varianza de las variables físico-químicas pH, coordenadas de color y magnitudes psicofísicas e índice de rojez de la CAMR para el factor aditivo de lavado. En esta tabla, se puede apreciar que el factor estudiado resultó significativo ( $P < 0,01$ ) para todas las variables consideradas.

**Tabla 52.** Resultado del Análisis de la Varianza (ANOVA) de las variables físico-químicas pH, coordenadas de color y magnitudes psicofísicas e índice de rojez de la CAMR para los factores concentración de aditivo de lavado y número de lavados

| Variables | FACTORES         | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F       | P      |
|-----------|------------------|-------------------|--------------------|----------------|---------|--------|
| pH        | Conc. de aditivo | 32,371            | 3                  | 10,790         | 935,82  | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 72,123            | 6                  | 12,021         | 1042,51 | 0,0000 |
|           | Interacción      | 19,037            | 18                 | 1,058          | 91,72   | 0,0000 |
| L*        | Conc. de aditivo | 1024,510          | 3                  | 341,503        | 75,17   | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 6558,020          | 6                  | 1093,000       | 240,60  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 800,163           | 18                 | 44,454         | 9,79    | 0,0000 |
| a*        | Conc. de aditivo | 2358,560          | 3                  | 786,186        | 377,44  | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 7517,420          | 6                  | 1252,900       | 601,51  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 1387,340          | 18                 | 77,075         | 37,00   | 0,0000 |
| b*        | Conc. de aditivo | 138,805           | 3                  | 46,268         | 47,81   | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 490,696           | 6                  | 81,783         | 84,51   | 0,0000 |
|           | Interacción      | 94,540            | 18                 | 5,252          | 5,43    | 0,0000 |
| C*        | Conc. de aditivo | 1459,530          | 3                  | 486,509        | 204,16  | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 5668,640          | 6                  | 944,773        | 396,47  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 912,012           | 18                 | 50,667         | 21,26   | 0,0000 |
| H*        | Conc. de aditivo | 24268,900         | 3                  | 8089,630       | 608,02  | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 43366,400         | 6                  | 7227,730       | 543,24  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 12738,700         | 18                 | 707,705        | 53,19   | 0,0000 |
| a*/b*     | Conc. de aditivo | 17,910            | 3                  | 5,970          | 426,31  | 0,0000 |
|           | Nº Lavado        | 40,432            | 6                  | 6,739          | 481,19  | 0,0000 |
|           | Interacción      | 106115,000        | 18                 | 0,590          | 42,10   | 0,0000 |

Al resultar significativo este factor para cada una de las variables, se procedió a aplicar el test de Tukey. En la tabla 53 se expresan los valores promedio para las coordenadas luminosidad (L\*), coordenada rojo-verde (a\*), coordenada amarillo-azul (b\*), magnitud psico-

física tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), índice de rojez y pH de la CAMR tras cada lavado y para los distintos aditivos de lavado estudiados.

**Tabla 53.** Valores medios de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), índice de rojez y pH de la CAMR para los factores lavado y concentración de bicarbonato sódico (BS)

|        |         | $L^*$  | $a^*$  | $b^*$  | $H^*$  | $C^*$  | $a^*/b^*$ | pH    |
|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|-------|
| BS     | Control | 48,90a | 13,93a | 10,87b | 37,97a | 17,67b | 1,28b     | 7,05a |
|        | 0,25%   | 51,86b | 7,14b  | 9,21a  | 52,19b | 11,66a | 0,78a     | 7,80b |
|        | 0,50%   | 53,19c | 6,86b  | 9,06a  | 52,84b | 11,37a | 0,76a     | 7,89c |
|        | 0,75%   | 54,29d | 6,62b  | 9,22a  | 54,33b | 11,35a | 0,72a     | 7,91c |
| Lavado | 0       | 40,20a | 20,57d | 12,70c | 31,70a | 24,17d | 1,62e     | 6,52a |
|        | 1       | 50,53b | 12,22c | 10,40b | 40,39b | 16,04c | 1,18d     | 7,24b |
|        | 2       | 53,11c | 7,54b  | 9,08a  | 50,29c | 11,81b | 0,83c     | 7,80c |
|        | 3       | 55,12d | 5,68a  | 8,98a  | 56,57d | 10,31a | 0,66b     | 8,00d |
|        | 4       | 55,25d | 5,05a  | 8,80a  | 60,15e | 10,14a | 0,57a     | 8,02d |
|        | 5       | 55,03d | 4,73a  | 8,60a  | 61,31f | 9,76a  | 0,55a     | 8,02d |
|        | 6       | 55,20d | 4,69a  | 8,56a  | 62,22f | 10,15a | 0,53a     | 8,04d |

a-c: Para cada factor, letras diferentes denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores medios

BS: Bicarbonato sódico

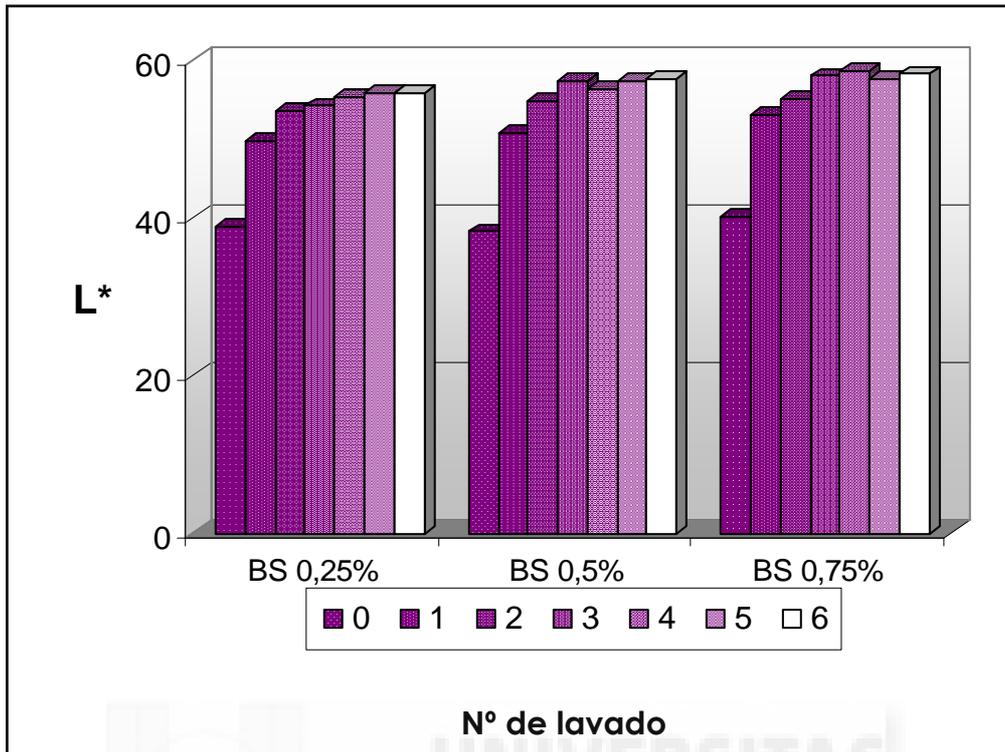
### Luminosidad ( $L^*$ )

Al analizar el factor concentración de aditivo de lavado (tabla 53), se observa que se presentaron diferencias significativas entre todas las muestras, incrementándose la luminosidad en función de la concentración de BS incorporada. Li y Lee (1999) mencionan que la

adición de BS favorece, de forma notoria, la eliminación de sangre y hemopigmentos. Como ya se comentó anteriormente, la relación biunívoca existente entre la luminosidad y el contenido en hemopigmentos explicaría este comportamiento.

Al analizar el factor número de lavados, se puede apreciar, en la tabla 53, que independientemente del número de lavados aplicados, el valor promedio de luminosidad ( $L^*$ ) se incrementó. No se presentaron diferencias significativas entre los lavados 3, 4 y 5, pero sí entre este bloque y el resto de muestras. Comparando los valores de luminosidad de las muestras lavadas con BS con las lavadas con el resto de aditivos analizados, se comprueba que la CAMR lavada con BS alcanza valores similares de  $L^*$  que las lavadas con ácido láctico y lactato sódico (Tablas 49 y 45, respectivamente), pero inferiores a los valores obtenidos con el cloruro sódico (Tabla 34).

En la figura 50 se representa la interacción concentración de aditivo de lavado-número de lavados. El test de Scheffe señaló que no existieron diferencias significativas entre los valores de la coordenada luminosidad para los lavados 3, 4, 5 y 6, para las tres concentraciones estudiadas. Al analizar el resto de lavados y concentraciones, sí se presentaron diferencias significativas. Si se atiende al criterio de Reppond y Babbitt (1997), sólo las diferencias mayores a la unidad, para los valores de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ) tienen sentido práctico, aspecto que se puede observar en la tabla 35 y que resulta coincidente con el análisis de la interacción para ambos factores.



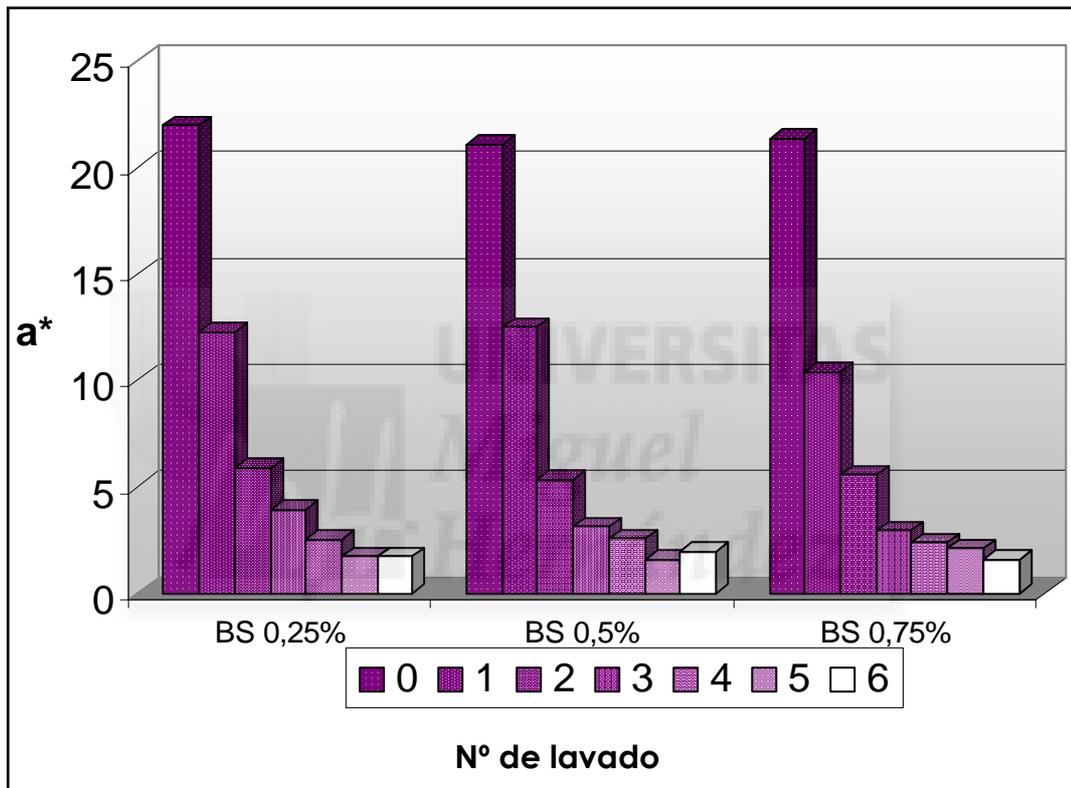
**Figura 50.** Representación gráfica de la interacción concentración de bicarbonato sódico y número de lavados para la coordenada luminosidad ( $L^*$ )

Coordenada rojo-verde ( $a^*$ )

Al analizar el factor número de lavados, se puede apreciar, en la tabla 53, que independientemente del número de lavados aplicados, el valor promedio de  $a^*$  disminuyó. No se presentaron diferencias significativas entre los lavados 3, 4, 5 y 6 pero sí entre este bloque y el resto de muestras. El mismo resultado se obtuvo, si se atiende al criterio de Reppond y Babbitt (1997) (Tabla 36). Los valores de  $a^*$  obtenidos tras los lavados con BS fueron similares a los obtenidos cuando se usó el cloruro sódico (Tabla 34) como aditivo de lavado, inferiores a los del LS (Tabla 45) y TPS (Tabla 41), y superiores a los del ácido láctico (Tabla 49). El comportamiento de la  $a^*$  por el efecto del lavado ya ha sido previamente descrito.

Al analizar el factor concentración de aditivo de lavado (tabla 53), se presentaron diferencias significativas entre la muestra control y todas las concentraciones de BS estudiadas, pero no entre ellas ( $P>0,05$ ).

En la figura 51 se representa la interacción concentración de aditivo de lavado-número de lavados.



**Figura 51.** Representación gráfica de la interacción concentración de bicarbonato sódico y número de lavados para la coordenada rojo-verde ( $a^*$ )

El test de Scheffe señaló que no se presentaron diferencias significativas entre los lavados 3, 4, 5 y 6 de las concentraciones 0,5% y 0,75%. Se presentaron diferencias significativas entre los valores de  $a^*$  para la concentración de 0,25%, entre el lavado 3 y los lavados 4, 5, y 6. A su vez, tampoco se presentaron diferencias significativas entre los lavados 1 para las concentraciones de 0,25 y 0,5%, existiendo diferen-

cias entre estas dos y la 0,75%. Li y Lee (1999) mencionan que la adición de BS favorece, de forma notoria, la eliminación de sangre y hemopigmentos. En este trabajo, este fenómeno estaría representado por la disminución del valor de la coordenada  $a^*$ . En la figura 51 se observa como el efecto del lavado sobre la coordenada  $a^*$  predomina sobre el efecto de la concentración de BS utilizada,

#### Coordenada amarillo-azul ( $b^*$ )

Para el factor número de lavados (considerando en promedio el factor concentración), no se presentaron diferencias significativas entre los valores de  $b^*$  de las muestras lavadas 2, 3, 4, 5, y 6 veces pero sí entre este bloque y las muestras lavadas 1 vez y la muestra control (Tabla 53).

Al analizar el factor concentración de aditivo de lavado, considerando en promedio el número de lavados, no se presentaron diferencias significativas entre todas las concentraciones de BS estudiadas, pero sí entre éstas y la muestra control. Li y Lee (1999), mencionan que la utilización de BS durante el proceso de elaboración de *surimi* a partir de la fracción partir de la fracción muscular de *Ictalurus punctatus* disminuye los pigmentos que contribuyen a la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ).

Tanto el efecto del lavado como el efecto de la concentración provocaron una disminución de  $b^*$  (Tabla 53).

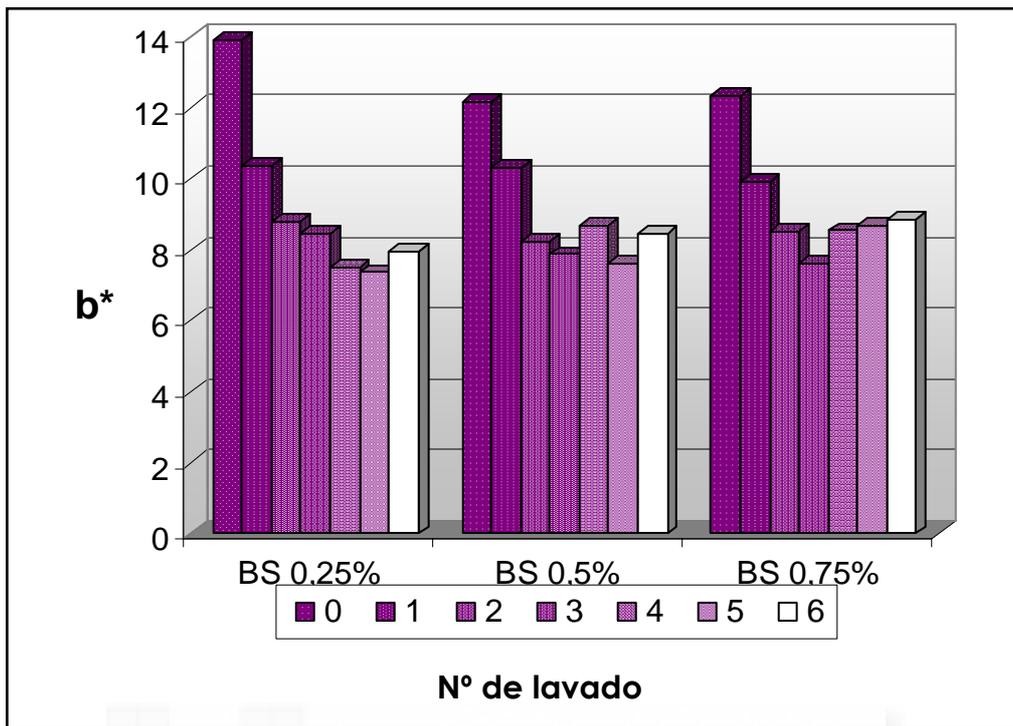
En la figura 52 se representa la interacción concentración de aditivo de lavado-número de lavados. El test de Scheffe aplicado en el estudio de esta interacción, mostró que no se presentaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre las tres concentraciones de bicarbonato sódico en el lavado 2 y en el lavado 6. Resultados similares

( $P > 0,05$ ) se obtuvieron para el lavado 2, tanto con las concentraciones de 0,25 y 0,5% de BS.

Si se considerasen los aspectos estructurales como factor responsable de esta coordenada, como se ha comentado en apartados anteriores, podría pensarse que en este caso, en el lavado 6 la estructura que tiene la CARM es similar e independiente de la concentración de este aditivo.

En la tabla 37 se pueden apreciar los comportamientos sobre el significado práctico de las diferencias de esta coordenada, de acuerdo con el criterio de Reppond y Babbitt (1997).

Si se compara el comportamiento de esta coordenada con el resto de aditivos, se puede apreciar que únicamente destaca por su comportamiento diferente, el lactato sódico, con valores de  $b^*$  muy superiores al resto de aditivos.



**Figura 52.** Representación gráfica de la interacción concentración de bicarbonato sódico y número de lavados para la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ )

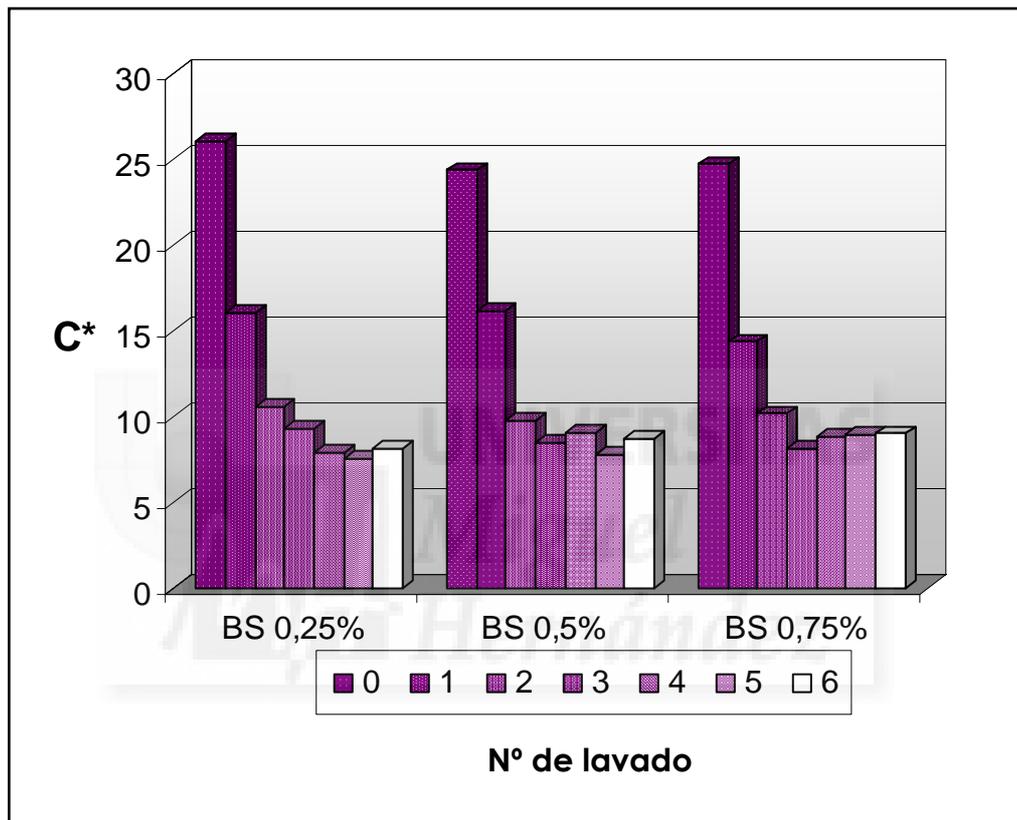
Magnitud psicofísica croma ( $C^*$ )

Los resultados obtenidos tras aplicar el test de Tukey, se pueden apreciar en la tabla 53. Al analizar el factor número de lavados, considerando en promedio las distintas concentraciones de aditivo, se puede apreciar, que independientemente del número de lavados aplicados, el valor promedio de  $C^*$  disminuyó. Los resultados indican que no existían diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los lavados 4, 5 y 6 pero sí entre este bloque y el resto de muestras.

Al analizar el factor concentración de aditivo de lavado (Tabla 53), se observa que se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre todas las concentraciones estudiadas y la muestra control.

Al igual que lo ocurrido con el resto de ingredientes estudiados en este trabajo, el color de la CAMR incrementó en su componente gris tras el proceso de lavado.

En la figura 53 se representa la interacción concentración de aditivo de lavado-número de lavados.



**Figura 53.** Representación gráfica de la interacción concentración de bicarbonato cloruro sódico y número de lavados para la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ )

El test de Scheffe aplicado en el estudio de esta interacción, mostró que no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre las tres concentraciones de bicarbonato sódico en el lavado 2 y en el lavado 6, al igual que ocurrió para la coordenada amarillo-azul ( $P > 0,05$ ).

En el estudio de Berrios *et al.* (2004) sobre la aplicación de este

aditivo a otros alimentos, se señala que, en función del tratamiento tecnológico aplicado y de la concentración de este aditivo, el croma puede o no verse afectado por las distintas concentraciones de BS empleadas. Estos mismos autores señalan que al no presentar ninguna relación lineal entre la concentración de BS y esta magnitud psicofísica, la interpretación de su efecto sobre el color es complicada.

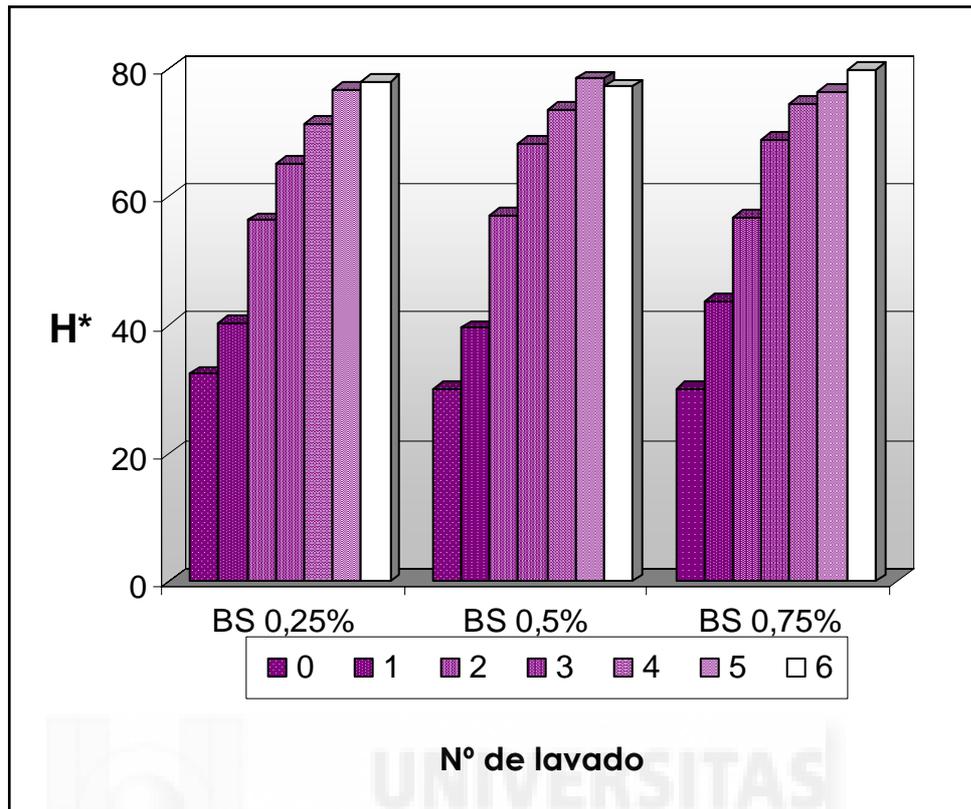
#### Magnitud psicofísica tono ( $H^*$ )

Al analizar el factor número de lavados (tabla 53), considerando el factor concentración en promedio, se puede apreciar que independientemente del número de lavados aplicados, el valor promedio del tono, se incrementó, presentando entre todos los niveles de dicho factor diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

Al analizar el factor concentración de aditivo de lavado (tabla 53), se observa que no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre las diferentes concentraciones de BS estudiadas pero sí entre éstas y la muestra control.

Al igual que ocurre tras la incorporación de ácido láctico, los valores de tono se incrementaron tras el proceso de lavado, sin embargo, los valores de tono obtenidos fueron superiores a los alcanzados tras el lavado con BS.

En la figura 54 se representa la interacción concentración de aditivo de lavado-número de lavados. El test de Scheffe no encontró diferencias significativas entre las tres concentraciones para los lavados 1 y 2, ni entre las concentraciones de 0,5% y 0,75% para el lavado 3.



**Figura 54.** Representación gráfica de la interacción concentración de bicarbonato sódico y número de lavados para la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ )

Los valores de tono obtenidos en todos los casos quedaron comprendidos entre los tonos rojos ( $30-60^\circ$ ) y naranjas ( $60-90^\circ$ ) (Instituto de Racionalización, 1981).

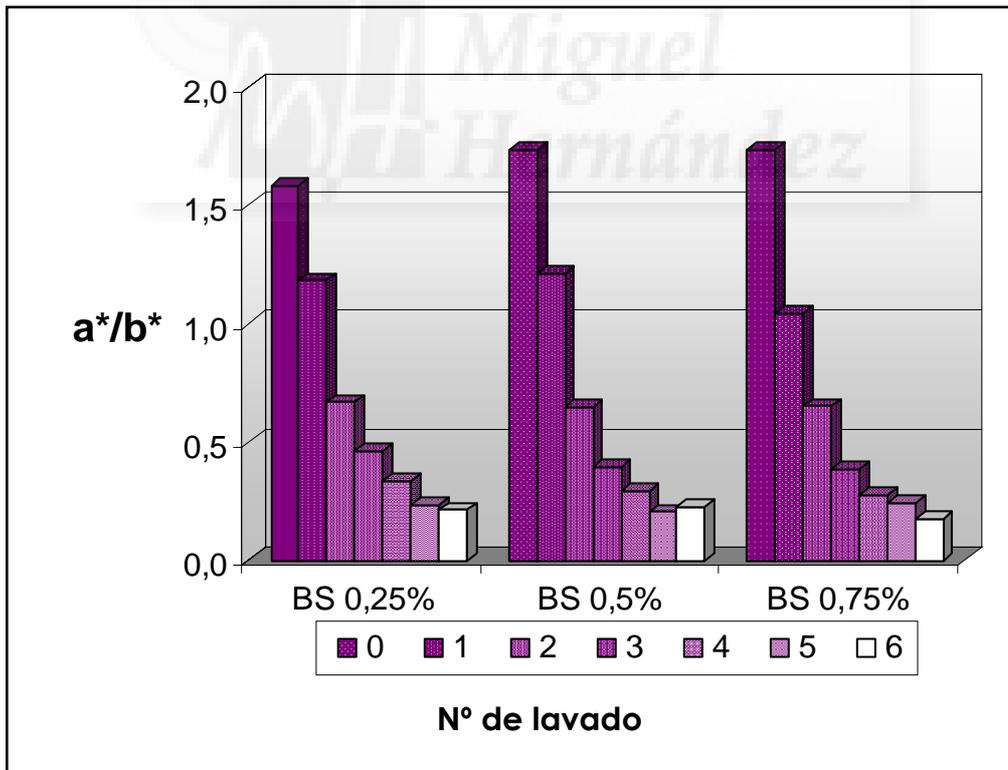
#### Índice de rojez ( $a^*/b^*$ )

Al analizar el factor número de lavados, se puede apreciar (Tabla 53), que independientemente del número de lavados aplicados, el valor promedio del índice de rojez ( $a^*/b^*$ ) disminuyó. El test de Tukey no encontró diferencias significativas entre los lavados 3, 4, 5 y 6 pero sí entre este bloque y el resto de muestras.

Al analizar el factor concentración de aditivo de lavado (tabla 53), se observa que no se presentaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre las diferentes concentraciones de BS estudiadas, pero sí ( $P<0,05$ ) entre ellas y la muestra control.

El comportamiento de este índice durante el proceso de lavado con BS fue similar al mostrado por la CAMR tras su lavado con el resto de aditivos ensayados. No obstante, tras los 6 lavados, el índice de rojez obtenido con este aditivo fue inferior al obtenido cuando se usó lactato o TPS, pero superior a los obtenidos con ácido láctico y cloruro sódico.

En la figura 55 se representa la interacción concentración de aditivo de lavado-número de lavados.



**Figura 55.** Representación gráfica de la interacción concentración de bicarbonato sódico y número de lavados para el índice de rojez ( $a^*/b^*$ )

## pH

Al analizar el factor concentración de aditivo (considerando en promedio el factor número de lavados) se observó (Tabla 53) que no se presentaron diferencias ( $P>0,05$ ) entre las concentraciones de 0,50 y 0,75%, pero sí entre estas concentraciones y el resto. El valor de pH se incrementó tras su lavado con BS, siendo el único aditivo que ha incrementado de forma sensible el valor de pH de las muestras.

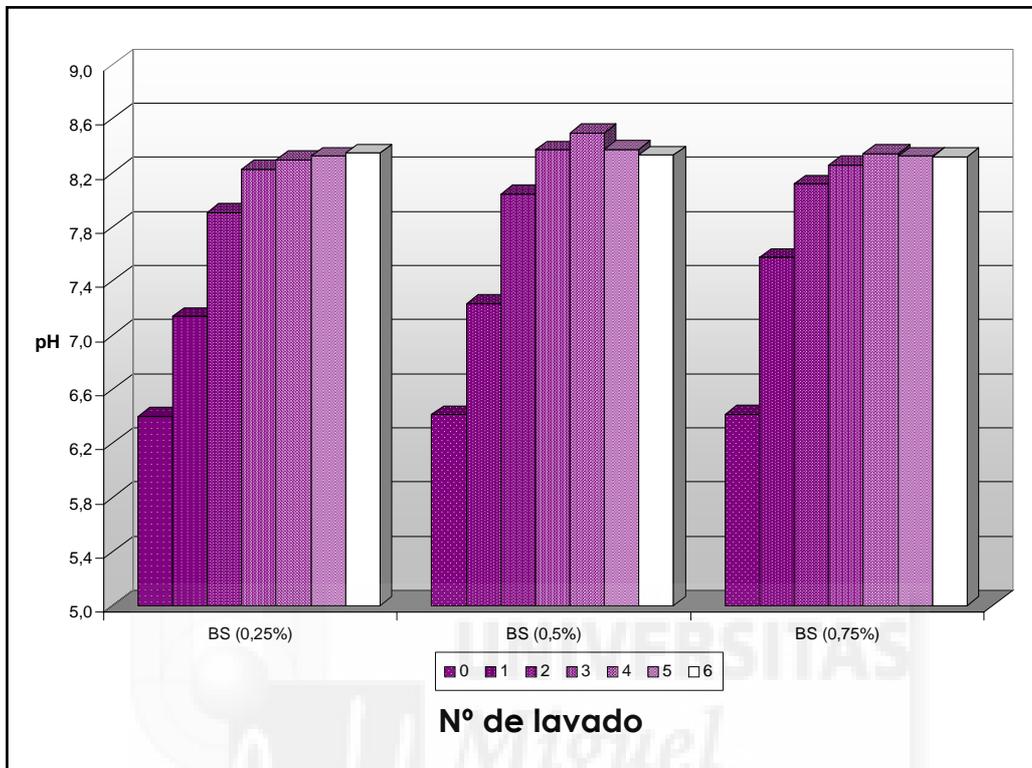
Al analizar el factor número de lavados, considerando en promedio el factor concentración de BS, se observa (Tabla 53) que no se presentaron diferencias entre los lavados 3, 4 y 5, pero sí entre ellos y el resto de lavados. El pH obtenido durante todo el proceso de lavado con BS fue muy superior al valor de pH obtenido con cualquiera de los otros aditivos de lavado analizados.

Este notorio efecto del BS sobre el pH de la CAMR podría ser perjudicial para el producto desde el punto de vista microbiológico, ya que, tanto por la forma de obtención del mismo (elevado grado de ruptura muscular), como por su procedencia (subproductos del despiece de la canal de ave), es una materia prima ya de por sí con elevados valores de pH, por lo que si su procesamiento contribuye a incrementar todavía más estos valores, se contribuiría de forma notoria a reducir su vida útil.

En la figura 56 se representa la interacción concentración de aditivo de lavado-número de lavados.

Al analizar la interacción concentración de aditivo y número de lavados (figura 55), se puede apreciar que no existieron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre los lavados 4, 5 y 6 para la concentración

del 0,25%, ni entre los lavados 4, 5 y 6 para la concentración del 0,75%, pero sí entre éstos y el resto.



**Figura 56.** Representación gráfica de la interacción concentración de cloruro sódico y número de lavados para el pH de la CAMR

### 4.3. CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE GELES CÁRNICOS A PARTIR DE CAMR

#### 4.3.1. Etapa de lavado

La elección de coordenadas de color como parámetros válidos a la hora de seleccionar materias primas, procesos, condiciones de almacenamiento, etc. es diversa, ya que depende de diversos factores (Pérez-Alvarez, 1996). En el citado trabajo, por ejemplo, se justifica que el cociente  $a^*/b^*$  es el parámetro de color seleccionado a la hora de diferenciar el desarrollo del "encostramiento" durante la maduración de productos cárnicos crudo-curados. Fernández-López (1998) señala que los diferentes grados de picado de la carne de cerdo pueden identificarse mediante los valores de la coordenada  $b^*$  y de índices de reflectancia. Garrido (1997) utilizó la coordenada  $a^*$  como parámetro de color para evaluar la influencia de la concentración de colorantes en pastas finas de pescados grasos.

Analizando los resultados obtenidos en el apartado anterior para cada uno de los aditivos de lavado, se descartó la utilización del lactato sódico, tanto por su efecto sobre la composición proximal de la CAMR, como por el efecto negativo que presentó sobre todas las coordenadas de color (el objetivo es emular en lo más posible el color de los productos gelificados a base de pescado). Basándose en estos mismos criterios, se seleccionaron las concentraciones de 0,25% de bicarbonato sódico, 0,75% de ácido láctico y 1% de cloruro sódico como las más idóneas para realizar la etapa de lavado de la CAMR a la hora de la elaboración de los geles cárnicos.

#### 4.3.1.1. Color de la CAMR lavada

##### 4.3.1.1.1. Parámetros de color

En la tabla 54 se expresan los valores obtenidos del análisis de la varianza de las coordenadas de color y magnitudes psicofísicas e índice de rojez de la carne de ave mecánicamente recuperada para los factores aditivo de lavado y número de lavados. En esta tabla, se puede apreciar que los factores estudiados resultaron significativos ( $P < 0,01$ ) para todas las variables consideradas.



**Tabla 54.** Resultado del análisis de la varianza (ANOVA) de las coordenadas de color y magnitudes psicofísicas e índice de rojez de la carne de ave mecánicamente recuperada para los factores aditivo de lavado y número de lavados

| Variables | FACTORES          | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F      | P      |
|-----------|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|--------|--------|
| L*        | Aditivo de lavado | 2948,37           | 2                  | 1474,19        | 117,63 | 0,0000 |
|           | Nº Lavado         | 36437,80          | 3                  | 12145,90       | 969,13 | 0,0000 |
|           | Interacción       | 2556,92           | 6                  | 426,15         | 34,00  | 0,0000 |
| a*        | Aditivo de lavado | 7029,27           | 2                  | 3514,63        | 430,87 | 0,0000 |
|           | Nº Lavado         | 18626,10          | 3                  | 6208,71        | 761,15 | 0,0000 |
|           | Interacción       | 2474,55           | 6                  | 412,43         | 50,56  | 0,0000 |
| b*        | Aditivo de lavado | 1203,67           | 2                  | 601,84         | 185,90 | 0,0000 |
|           | Nº Lavado         | 2696,11           | 3                  | 898,70         | 277,59 | 0,0000 |
|           | Interacción       | 441,47            | 6                  | 73,58          | 22,73  | 0,0000 |
| C*        | Aditivo de lavado | 4825,58           | 2                  | 2412,79        | 273,85 | 0,0000 |
|           | Nº Lavado         | 13685,90          | 3                  | 4561,97        | 517,78 | 0,0000 |
|           | Interacción       | 1300,06           | 6                  | 216,68         | 24,59  | 0,0000 |
| H*        | Aditivo de lavado | 52866,60          | 2                  | 26433,30       | 700,32 | 0,0000 |
|           | Nº Lavado         | 102919,00         | 3                  | 34306,50       | 908,92 | 0,0000 |
|           | Interacción       | 22757,20          | 6                  | 3792,87        | 100,49 | 0,0000 |
| a*/b*     | Aditivo de lavado | 28,14             | 2                  | 14,07          | 626,09 | 0,0000 |
|           | Nº Lavado         | 60,97             | 3                  | 20,32          | 904,21 | 0,0000 |
|           | Interacción       | 12,10             | 6                  | 2,02           | 89,73  | 0,0000 |

Al resultar significativos los factores número de lavado y aditivo de lavado para cada una de las variables, se procedió a realizar el test de Tukey para conocer entre qué lavados y aditivos se presentaban las diferencias significativas. En la tabla 55 se expresan los valores promedio de las coordenadas luminosidad (L\*), coordenada rojo-

verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ) e índice de rojez de la CAMR tras cada lavado y para los distintos aditivos de lavado estudiados.

**Tabla 55.** Valores medios de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ) e índice de rojez de la carne de ave mecánicamente recuperada para los factores nº de lavado y aditivo empleado

|                      |                    | $L^*$  | $a^*$  | $b^*$  | $H^*$  | $C^*$  | $a^*/b^*$ |
|----------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| ADITIVO<br>DE LAVADO | NaHCO <sub>3</sub> | 53,10b | 12,73c | 14,19b | 49,77a | 19,19c | 0,87c     |
|                      | Ác. Láctico        | 49,15a | 6,26a  | 11,69a | 67,20c | 13,74a | 0,47a     |
|                      | NaCl               | 52,53b | 8,39b  | 13,88b | 62,60b | 16,77b | 0,57b     |
| Nº DE<br>LAVADO      | 0                  | 41,75a | 15,54d | 15,50d | 45,23a | 21,98d | 1,00d     |
|                      | 1                  | 51,51b | 10,56c | 14,08c | 55,80b | 17,94c | 0,72c     |
|                      | 2                  | 55,17c | 6,35b  | 12,24b | 66,20c | 14,16b | 0,48b     |
|                      | 3                  | 57,93d | 4,06a  | 11,18a | 72,22d | 12,18a | 0,34a     |

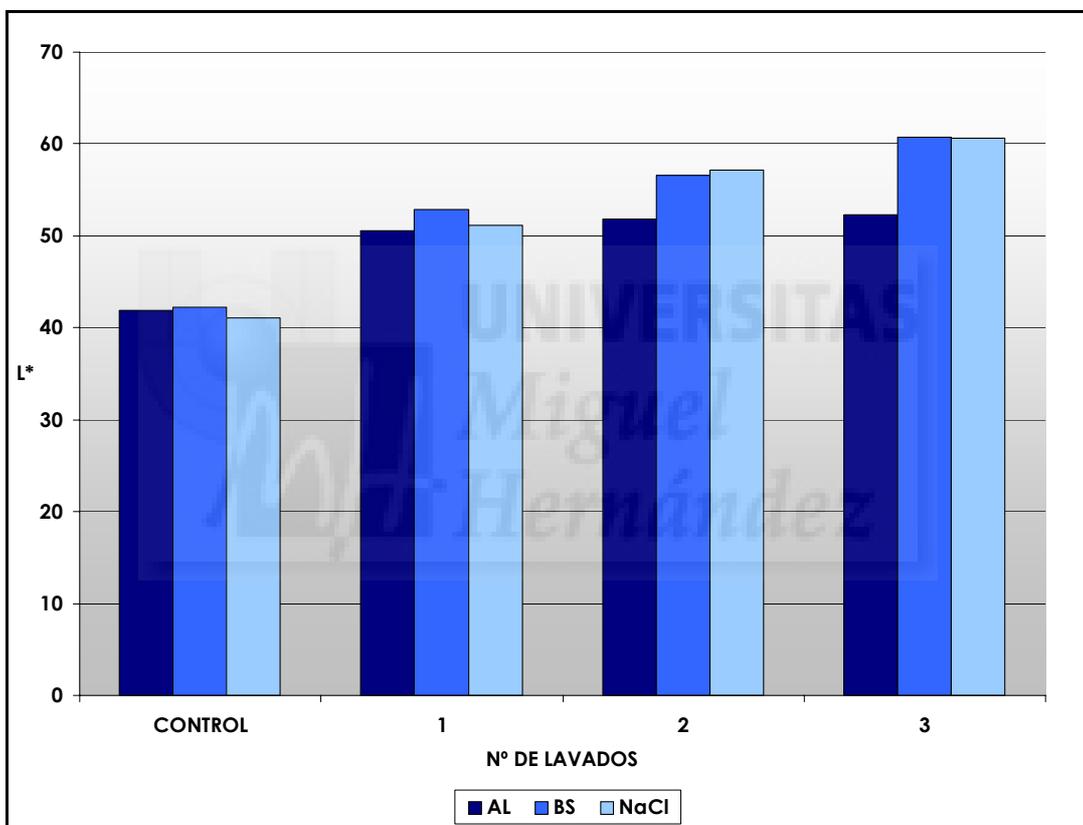
a-c: Letras diferentes, entre los niveles de un mismo factor, denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores medios

### Luminosidad ( $L^*$ )

Al analizar el factor número de lavados, se puede apreciar, en la tabla 55, que independientemente del número de lavados aplicados, el valor promedio de luminosidad ( $L^*$ ) se incrementó ( $P < 0,05$ ), presentándose diferencias significativas entre cada uno de los niveles de dicho factor. La justificación del comportamiento de esta coordenada durante el proceso de lavado ya ha sido discutida en el apartado 4.2.1.4.1.

Al analizar el factor aditivo de lavado, se puede apreciar que, los mayores valores de  $L^*$  se presentaron para los aditivos bicarbonato sodico (BS) y cloruro sódico (NaCl), no existiendo diferencias significativas entre ellos, pero sí entre éstos y el valor de  $L^*$  de la carne lavada con ácido láctico (AL) (Tabla 55).

En la figura 57, se representa la interacción aditivo de lavado (ácido láctico, bicarbonato sódico y cloruro sódico) y número de lavados (entre los lavados 0 a 3) para la coordenada luminosidad ( $L^*$ ).



AL: Ácido láctico; BS: Bicarbonato sódico; NaCl: Cloruro sódico

**Figura 57.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y número de lavados para la coordenada luminosidad ( $L^*$ )

Al analizar la interacción aditivo de lavado y número de lavados, se puede apreciar que, para el lavado 1, no existieron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre todos los aditivos de lavado, ni entre los

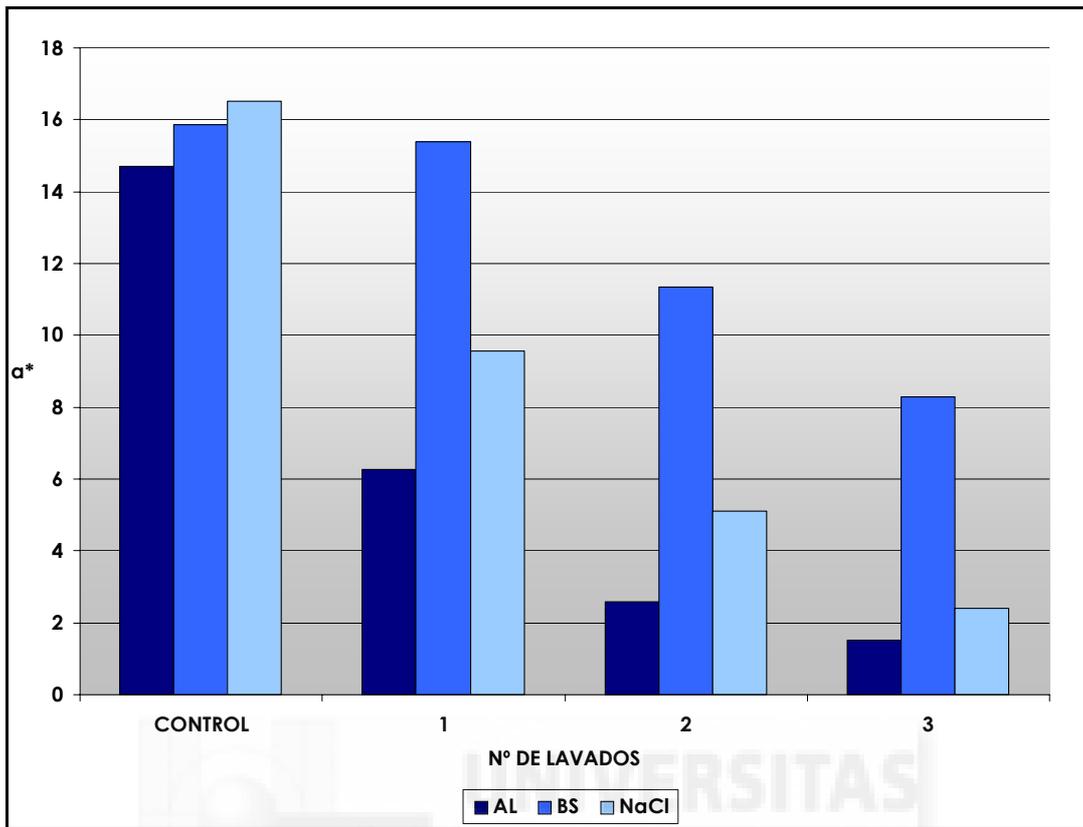
lavados 2 y 3 para el AL, pero sí entre éstos dos últimos y el resto de aditivos para esos mismos lavados. Al incrementarse el número de lavados, el uso de cloruro sódico y BS incrementan el valor de esta coordenada, siendo más efectivos que el AL a la hora de aclarar el producto, en contra de lo que cabría esperar vistos los resultados del apartado anterior. El efecto solubilizador de las proteínas sarcoplásmicas en general y hemopigmentos en particular del cloruro sódico y del BS estaría predominando sobre el efecto de precipitación atribuido al AL (Rosmini *et al.*, 2005).

#### Coordenada rojo-verde( $a^*$ )

Al analizar el factor número de lavados, se puede apreciar, que se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) para todos los niveles de dicho factor (tabla 55), disminuyendo el valor de  $a^*$  conforme se incrementa el número de lavados. La justificación del comportamiento de esta coordenada durante el proceso de lavado ya ha sido discutida en el apartado 4.2.1.4.2.

Al analizar el factor aditivo de lavado, se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) para los tres aditivos estudiados. Se puede apreciar que el menor valor de  $a^*$  correspondió al AL.

En la figura 58 se representa la interacción aditivo de lavado (ácido láctico, bicarbonato sódico y cloruro sódico) y número de lavados (en los lavados 0 a 3) para la coordenada  $a^*$ .



AL: Ácido láctico; BS: Bicarbonato sódico; NaCl: Cloruro sódico

**Figura 58.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y número de lavados para la coordenada rojo-verde ( $a^*$ )

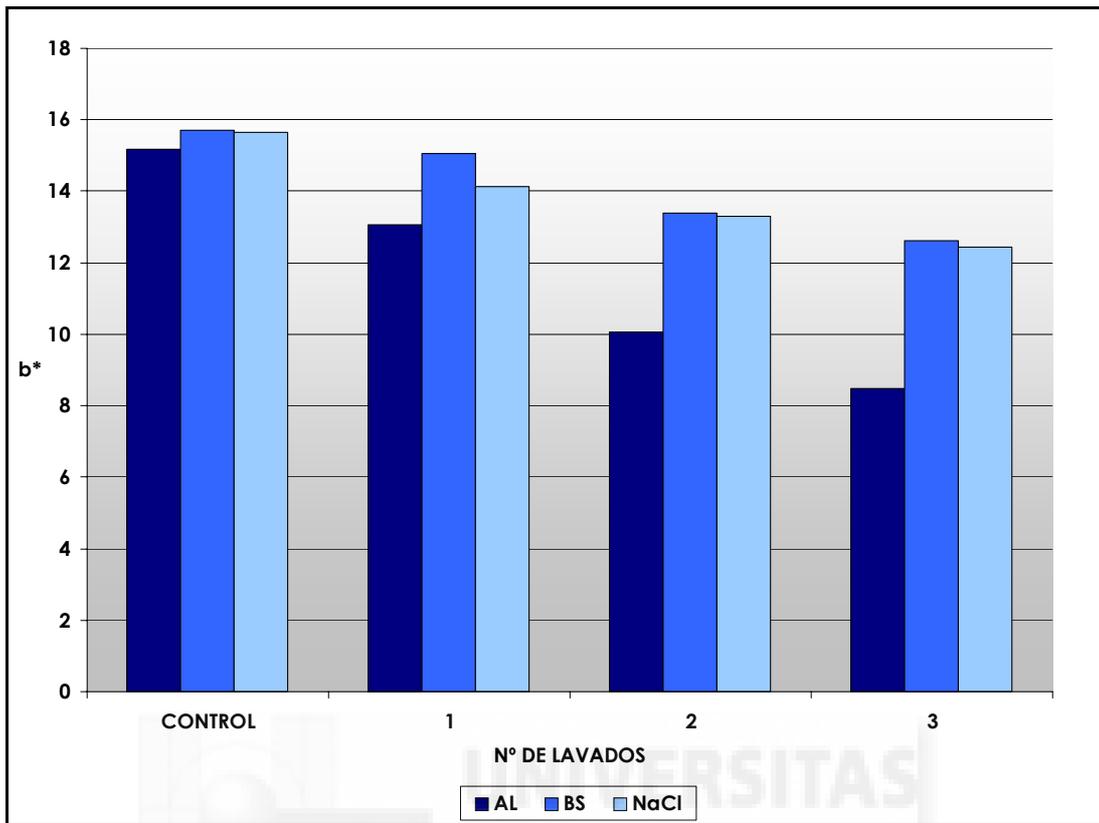
Al analizar la interacción aditivo de lavado y número de lavados, se puede apreciar que existieron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre todos los aditivos para todos los lavados (1, 2 y 3) (Figura 58). Los menores valores de  $a^*$ , para todos los lavados, correspondieron a la CAMR lavada con AL, seguida por la CAMR lavada con cloruro sódico. Si uno de los posibles criterios de selección del aditivo de lavado fuese la coordenada  $a^*$  (como índice de eliminación de hemopigmentos), el aditivo elegido sería el AL. Este efecto también ha sido descrito por Rosmini *et al.*, (2005) en sistemas modelo de embutidos crudo-curados.

Coordenada amarillo-azul (b\*)

Al analizar el factor número de lavados, se puede apreciar que, se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) para todos los niveles del factor considerado (tabla 55), disminuyendo los valores de b\* al incrementarse el número de lavados. La justificación del comportamiento de esta coordenada durante el proceso de lavado ya ha sido discutida en apartados anteriores.

Al analizar el factor aditivo de lavado, se puede apreciar, que no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los valores de b\* para el BS y el NaCl, pero sí ( $P < 0,05$ ) entre estos dos y el AL (Tabla 55), efecto que podría estar relacionado con la estructura más "abierto" que generarían estos aditivos, al incrementar ambos la capacidad de retención de agua más que el ácido láctico, la cual generaría una estructura más cerrada.

En la figura 59 se representa la interacción aditivo de lavado (ácido láctico, bicarbonato sódico y cloruro sódico) y número de lavados (en los lavados 0 a 3) para la coordenada b\*.



AL: Ácido láctico; BS: Bicarbonato sódico; NaCl: Cloruro sódico

**Figura 59.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y número de lavados para la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ )

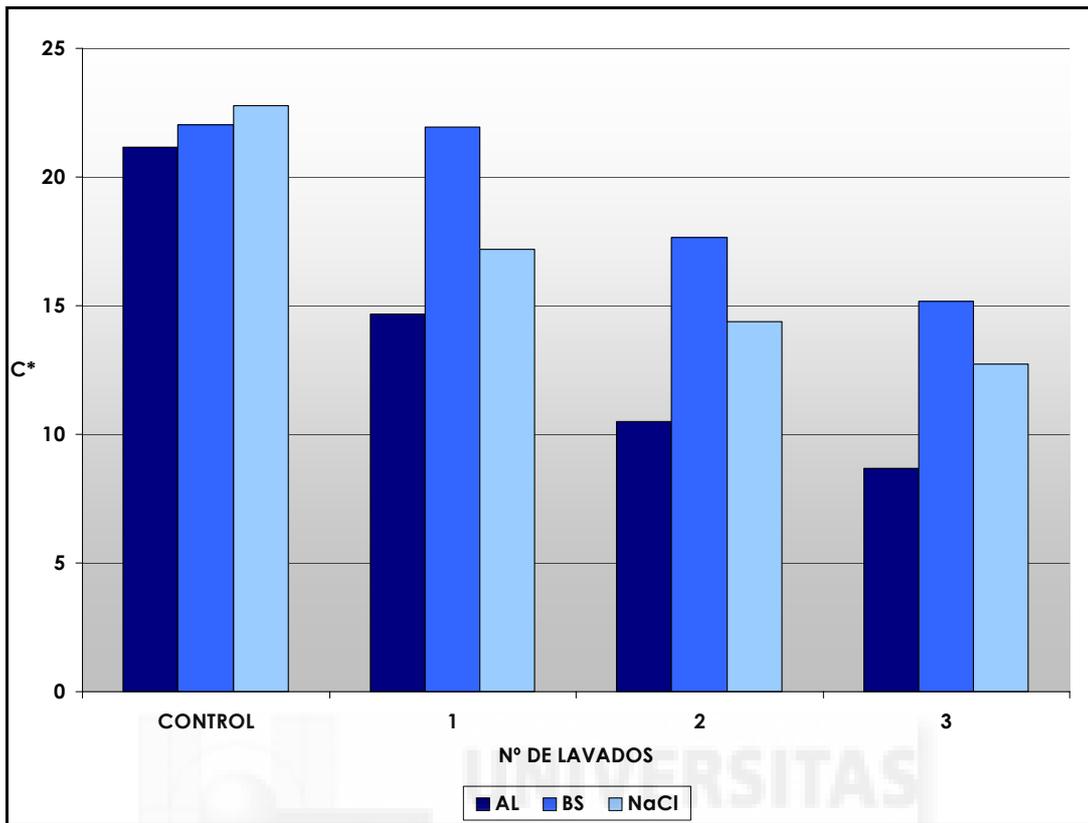
Al analizar la interacción aditivo de lavado y número de lavados, se puede apreciar que no existieron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ), para los aditivos BS y NaCl, en los lavados 2 y 3, pero sí entre éstos y el resto. El mayor efecto de reducción de la coordenada  $b^*$  a lo largo del proceso de lavado correspondió al AL. También es importante destacar que la coordenada  $a^*$  se manifestó mucho más sensible al efecto del AL que esta coordenada. La coordenada  $a^*$  redujo sus valores en un 50% tras su lavado con AL, mientras que dicha reducción fue de solo un 20% (aproximadamente) en el caso de la coordenada  $b^*$ . Aspecto que podría relacionarse con los aspectos estructurales comentados anteriormente.

### Magnitud psicofísica croma (C\*)

Al analizar el factor número de lavados, se puede apreciar, en la tabla 55, que independientemente del número de lavados aplicados, el valor promedio de la magnitud psicofísica croma (C\*) disminuyó ( $P < 0,05$ ), incrementando la componente gris del color. La justificación del comportamiento de esta coordenada durante el proceso de lavado ya ha sido discutida en el apartado anterior.

Al analizar el factor aditivo de lavado, se puede apreciar que, se presentaron diferencias significativas entre los tres aditivos empleados (BS, NaCl, y AL), siendo el AL el que mayor componente gris aportó (Tabla 55).

En la figura 60 se representa la interacción aditivo de lavado (ácido láctico, bicarbonato sódico y cloruro sódico) y número de lavados (en los lavados 0 a 3) para la magnitud psicofísica croma (C\*).



AL: Ácido láctico; BS: Bicarbonato sódico; NaCl: Cloruro sódico

**Figura 60.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y número de lavados para la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ )

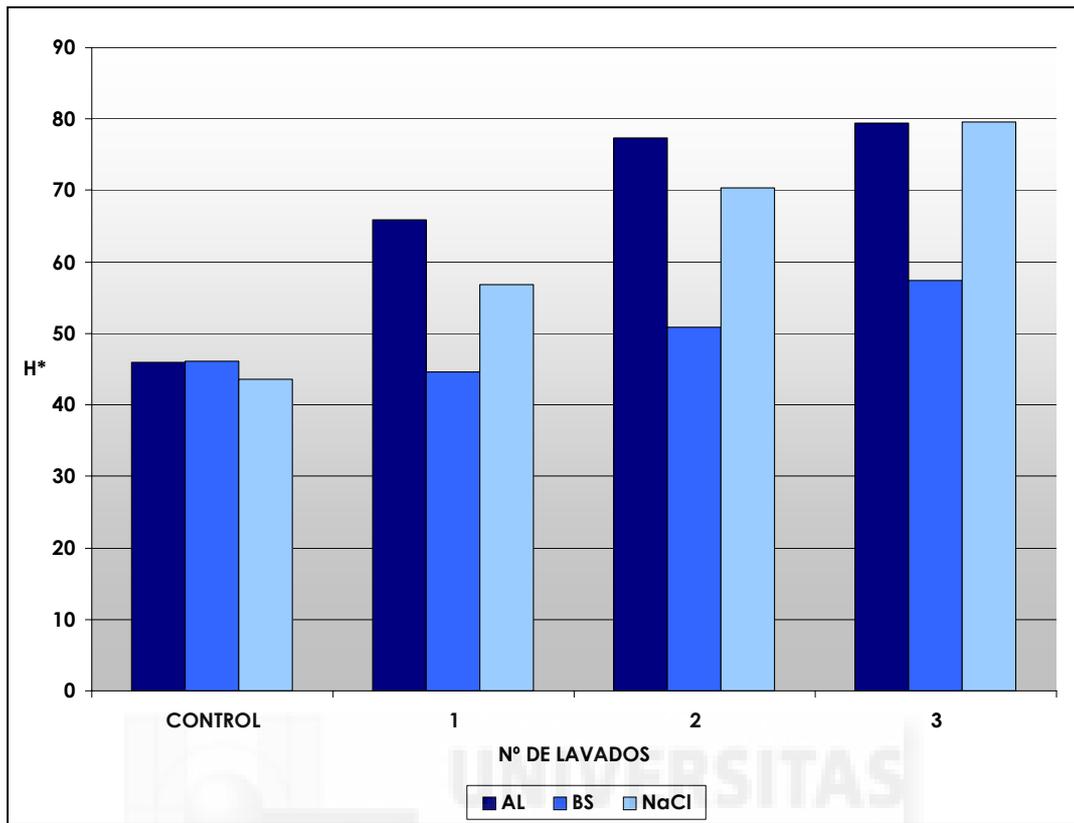
Al analizar la interacción aditivo de lavado y número de lavados, se puede apreciar que existieron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre todos los lavados y para todos los aditivos. El comportamiento de esta magnitud fue similar al de la coordenada  $a^*$ , lo que indicaría que la saturación de la CAMR durante la etapa de lavado dependerá fundamentalmente del efecto de dicho proceso sobre la coordenada  $a^*$  (Figura 60).

### Magnitud psicofísica tono (H\*)

Al analizar el factor número de lavados, se puede apreciar, en la tabla 55, que independientemente del número de lavados aplicados, el valor promedio de la magnitud psicofísica tono (H\*) se incrementó ( $P < 0,05$ ), quedando comprendidos en los tonos rojos (30-60) para los lavados 0 y 1, y en los tonos naranjas (60-90) para el resto de lavados (Instituto de Racionalización, 1981). La justificación del comportamiento de esta magnitud durante el proceso de lavado ya ha sido discutida en el apartado anterior.

Al analizar el factor aditivo de lavado, se puede apreciar que se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre todos los niveles de dicho factor (tabla 55), siendo más acusado el efecto del AL, seguido del cloruro sódico, y el BS, por este orden.

En la figura 61 se representa la interacción aditivo de lavado (ácido láctico, bicarbonato sódico y cloruro sódico) y número de lavados (en los lavados 0 a 3) para la magnitud psicofísica tono (H\*).



AL: Ácido láctico; BS: Bicarbonato sódico; NaCl: Cloruro sódico

**Figura 61.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y número de lavados para la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ )

Al analizar la interacción aditivo de lavado y número de lavados, se puede apreciar que no existieron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los aditivos AL y NaCl para el lavado 3, pero sí entre estos y el resto (Figura 61).

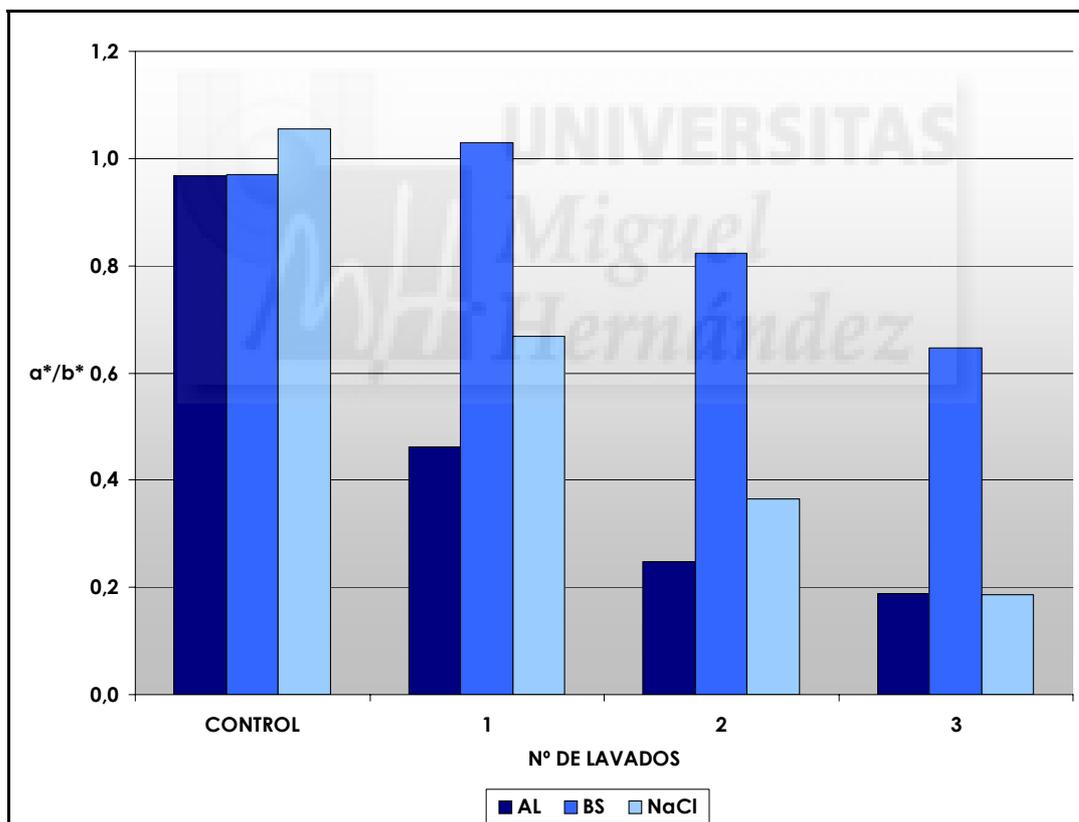
#### Índice de rojez ( $a^*/b^*$ )

Al analizar el factor número de lavados, se puede apreciar, que independientemente del número de lavados aplicados, el valor promedio del índice de rojez ( $a^*/b^*$ ) disminuyó ( $P < 0,05$ ) (tabla 55). La justi-

ficación del comportamiento de este índice durante el proceso de lavado ya ha sido discutida en los apartados anteriores.

Al analizar el factor aditivo de lavado, se observa que presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores de  $a^*/b^*$  para los tres aditivos estudiados (tabla 55), obteniéndose los menores valores de rojez en la CAMR lavada con AL.

En la figura 62 se representa la interacción aditivo de lavado (ácido láctico, bicarbonato sódico y cloruro sódico) y número de lavados (en los lavados 0 a 3) para el índice de rojez.



AL: Ácido láctico; BS: Bicarbonato sódico; NaCl: Cloruro sódico

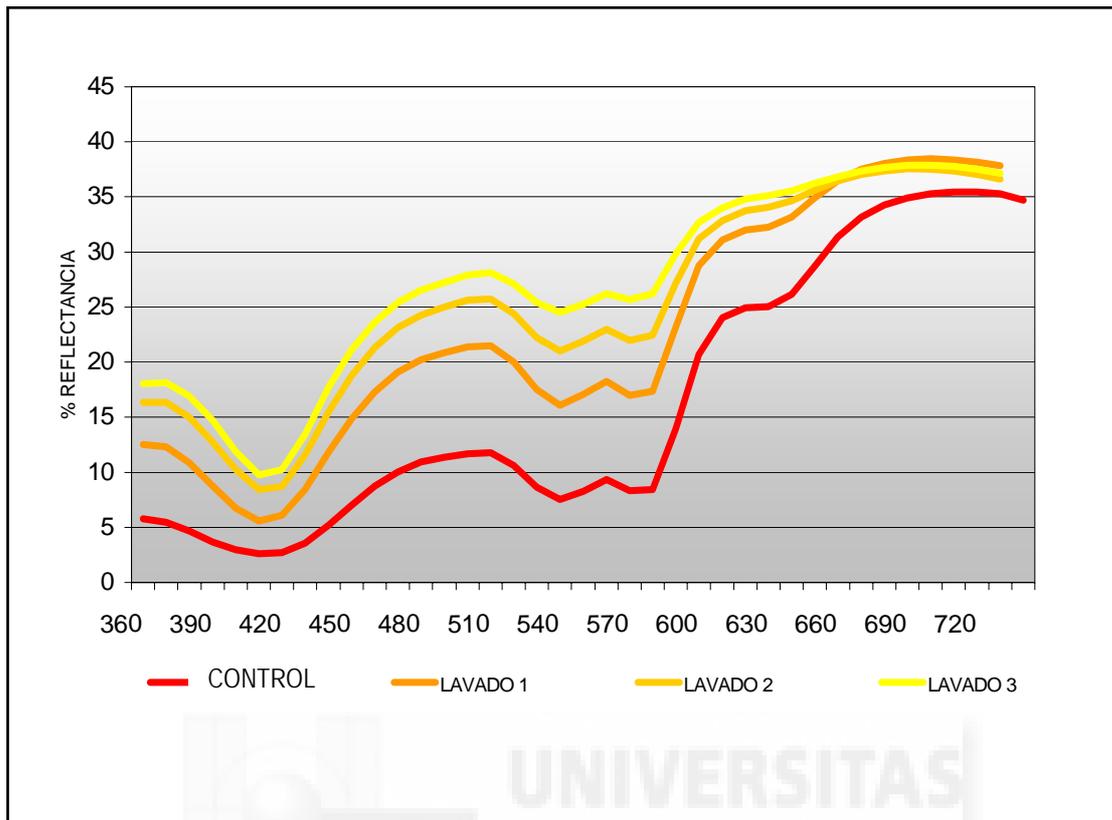
**Figura 62.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y número de lavados para el índice de rojez ( $a^*/b^*$ )

Al analizar la interacción aditivo de lavado y número de lavados, se puede apreciar que existieron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre todos los lavados para todos los aditivos, salvo para el valor de  $a^*/b^*$  correspondiente a los aditivos AL y NaCl para el lavado 3 (Figura 62). Al igual que lo observado para el tono, los efectos del cloruro sódico y del ácido láctico se igualaron en el tercer lavado. De los parámetros de color más relacionados con la apreciación visual humana (luminosidad, tono y croma) e índice de rojez en los productos cárnicos (Pérez-Álvarez y Fernández-López, 2001), son el tono y el índice de rojez los que posibilitarían que, con matices, pudiese realizarse la selección del aditivo más idóneo en función de la valoración visual del efecto de dichos aditivos sobre los mismos.

#### 4.3.1.1.2. Espectros de reflexión de la CAMR lavada

##### 4.3.1.1.2.1. CAMR lavada con bicarbonato sódico

El espectro de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada sin lavar, y después de cada uno de los tres lavados consecutivos con bicarbonato sódico (0,25%) a los que se sometió la muestra, se presenta en la figura 63.

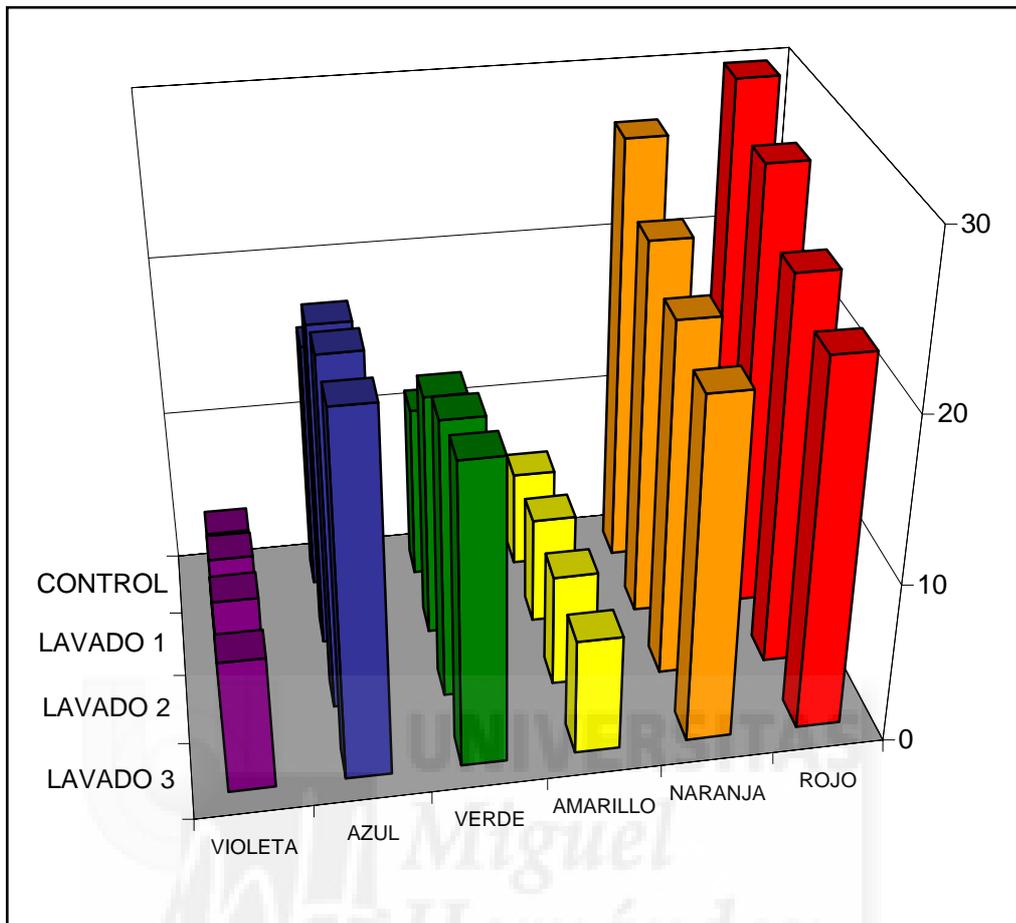


**Figura 63.** Espectro de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada sin lavar y después de cada uno de los tres lavados con bicarbonato sódico (0,25%) consecutivos a los que se sometió la muestra

Analizando las distintas longitudes de onda para los cuatro espectros de forma separada, se puede apreciar que, para todas las muestras, no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre las longitudes de onda 360-380 nm, ni entre 490-520 nm, aunque sí entre ambas mesetas. Como ya se comentó en apartados anteriores, a mayor concentración de hemopigmentos, las longitudes de onda del rojo presentan mayores valores de reflexión. En el intervalo desde 360 hasta 660 nm, el porcentaje de reflexión aumentó ( $P < 0,05$ ) con el número de lavados. Entre 660 y 740 nm no se observaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre el valor del porcentaje de reflectancia para la carne lavada, independientemente del número de lavados, pero sí entre estas muestras y la CAMR sin lavar (figura 63). Desde el punto de

vista espectral, las muestras lavadas con BS, independientemente del número de lavados, mantienen la forma característica de los hemopigmentos oxigenados (Fernández-López, 1998; Fernández-López *et al.*, 2000), aunque dicha forma se va difuminando conforme se incrementó el número de lavados. El incremento de los valores de reflexión en función del número de lavados podría estar relacionado con la absorción de agua por parte de la CAMR, pues dicho efecto también ha sido observado en otros productos cárnicos al incorporar agua como vehículo de aditivos y especias (García-Marcos, 1996; Rosmini, 1997; Fernández-López, 1998; Rosmini *et al.*, 2005))

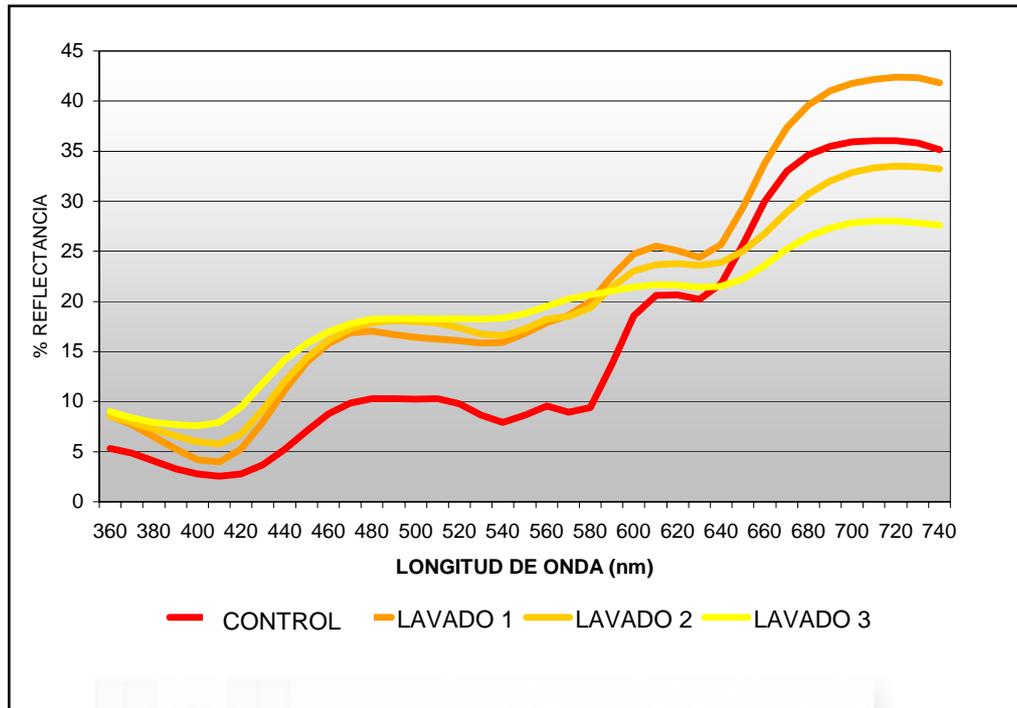
En la figura 64 se observa el porcentaje que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa respecto del área total del espectro de reflexión de la CAMR sin lavar y lavada después de cada uno de los tres lavados consecutivos, empleando bicarbonato sódico (0,25%) como aditivo de lavado. En ella se puede apreciar que los mayores componentes de color que aporta esta carne son el naranja y el rojo. Al analizar estadísticamente los porcentajes que cada uno de los colores básicos representa respecto del área total del espectro se observó que se presentaron diferencias significativas entre todos los niveles estudiados para cada color básico.



**Figura 64.** Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro (360-740 nm) de la CAMR sin lavar y lavada con bicarbonato sódico (0,25%)

#### 4.3.1.1.2.2. CAMR lavada con ácido láctico

La figura 65 muestra el espectro de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada sin lavar, y después de cada uno de los tres lavados consecutivos con ácido láctico (0,75%), a los que se sometió la muestra.

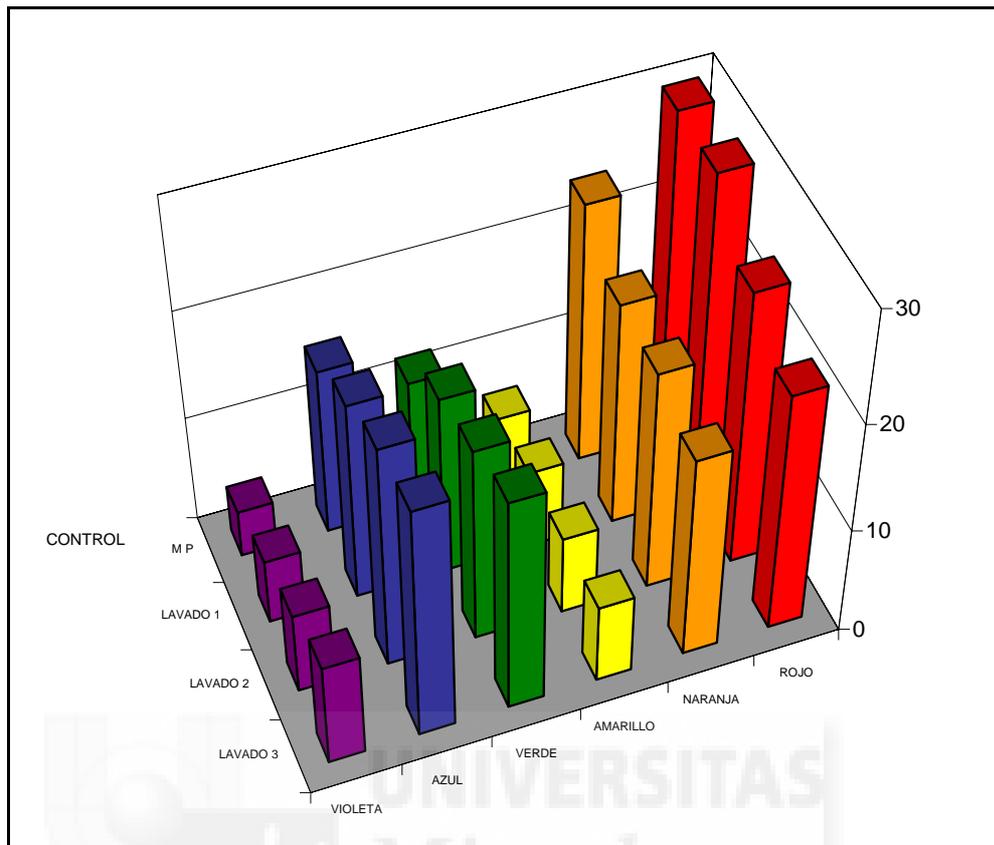


**Figura 65.** Espectro de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada sin lavar y después de cada uno de los tres lavados con ácido láctico (0,75%) consecutivos a los que se sometió la muestra

Para los cuatro espectros por separado, analizando las distintas longitudes de onda, no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ), entre las longitudes de onda 470-540 nm, ni entre 680-740 nm (figura 65). A diferencia de los espectros de reflexión de la carne lavada con bicarbonato sódico, en los que el porcentaje de reflectancia aumentaba con el número de lavados, para el intervalo 360-660 nm, en el caso de la carne lavada con ácido láctico, este intervalo se reduce de 360 a 580 nm. A partir de esa longitud de onda, sería la carne lavada una vez, la de mayor porcentaje de reflectancia, seguida de la carne sin lavar (muestra control), carne lavada dos veces y carne lavada tres veces, por este orden. Desde el punto de vista espectral, y a diferencia de lo observado con el BS, el lavado con AL (independientemente del número de lavados) hace desaparecer del

espectro de reflexión, la forma característica de los hemopigmentos oxigenados. Este comportamiento coincide con el observado por Fernández-López (1998) tras la aplicación de ácido láctico a la carne picada de cerdo.

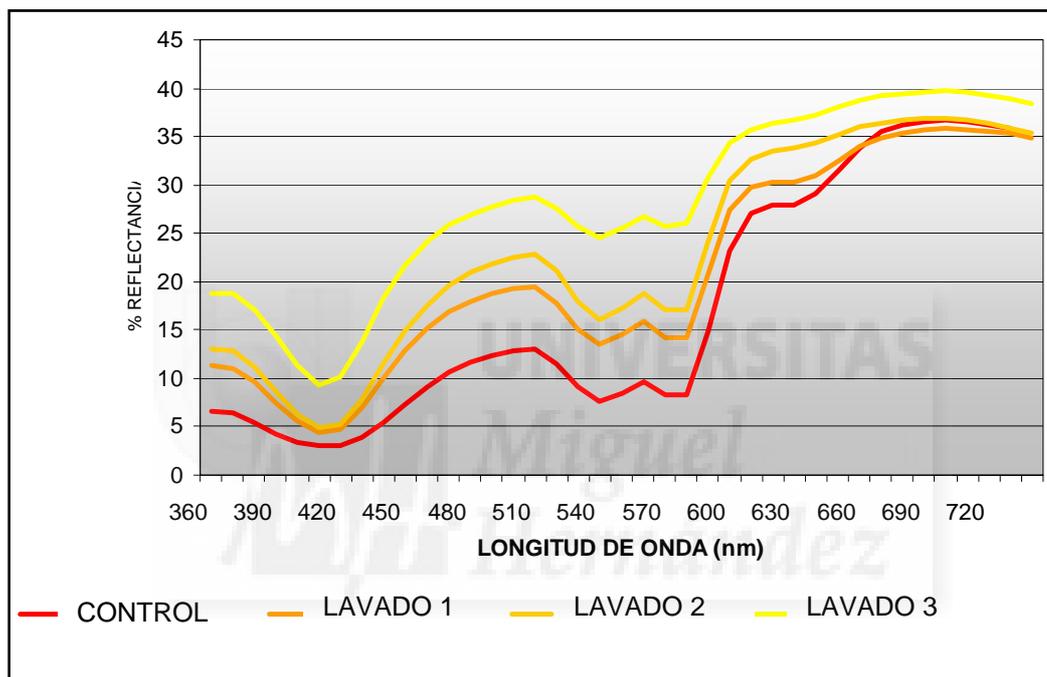
En la figura 66 se observa el porcentaje que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa respecto del área total del espectro de reflexión de la carne de ave mecánicamente recuperada sin lavar y lavada, después de cada uno de los tres lavados consecutivos empleando ácido láctico (0,75%) como aditivo de lavado. En ella se puede apreciar, al igual que para el BS, que los mayores componentes de color que aporta esta carne son el naranja y el rojo. Al analizar estadísticamente los porcentajes que cada uno de los colores básicos representa respecto del área total del espectro se observó que se presentaron diferencias significativas entre todos los niveles estudiados para cada color básico.



**Figura 66.** Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro (360-740 nm) de la CAMR sin lavar y lavada con ácido láctico (0,75%)

## 4.3.1.1.2.3. CAMR lavada con cloruro sódico

El espectro de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada sin lavar, y después de cada uno de los tres lavados consecutivos con cloruro sódico (1%), a los que se sometió la muestra se presenta en la figura 67.

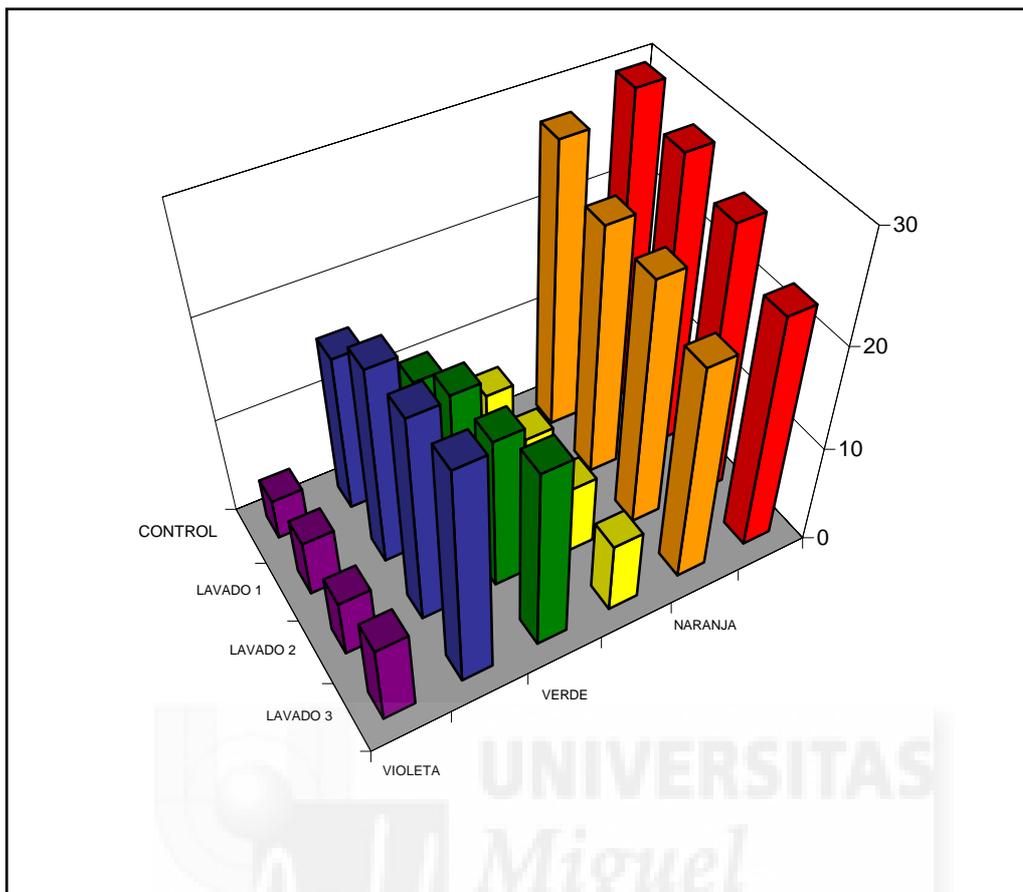


**Figura 67.** Espectro de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada sin lavar y después de cada uno de los tres lavados con cloruro sódico (1%) consecutivos a los que se sometió la muestra

En el intervalo desde 360 hasta 690 nm, el porcentaje de reflexión aumentó con el número de lavados ( $P < 0,05$ ), como sucedía en el caso de la carne lavada con bicarbonato sódico (figura 63). Entre 690 y 740 nm no se observan diferencias significativas entre el valor del porcentaje de reflectancia para la muestras control y la carne lavada una y dos veces, pero sí entre estas muestras y la CAMR lavada tres veces (figura 67). Al igual que lo observado para el BS, el espectro de

reflexión de la CAMR lavada con cloruro sódico mantiene la forma característica de los hemopigmentos oxigenados. En los estudios de Rosmini (1997) y Fernández-López (1998) se observó que la incorporación de sal, a distintas concentraciones, reducía los valores de reflexión de la carne, manteniendo la forma característica del espectro de la carne control. Dicho comportamiento se atribuyó al incremento de la capacidad de retención de agua por efecto de la sal. En este caso, en el que se manifiesta un efecto contrario, se estaría viendo, desde el punto de vista espectral, no el efecto del cloruro sódico presente en la solución de lavado, sino el efecto del lavado sobre la reducción de hemopigmentos y el efecto del agua sobre la matriz muscular.

En la figura 68 se observa el porcentaje que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa respecto del área total del espectro de reflexión de la carne de ave mecánicamente recuperada sin lavar y lavada después de cada uno de los tres lavados consecutivos empleando cloruro sódico (1%) como aditivo de lavado. En ella se puede apreciar que los mayores componentes de color que aporta esta carne son el naranja y el rojo, al igual que lo observado para el BS y el AL. Al analizar estadísticamente los porcentajes que cada uno de los colores básicos representa respecto del área total del espectro se observó que se presentaron diferencias significativas entre todos los niveles estudiados para cada color básico.



**Figura 68.** Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro (360-740 nm) de la CAMR sin lavar y lavada con cloruro sódico (1%)

### 4.3.2. Etapa de congelación

#### 4.3.2.1. Color de la CAMR congelada

##### 4.3.2.1.1. Parámetros de color

La congelación, así como otros tratamientos tecnológicos utilizados en los procesos de conservación de la carne y productos cárnicos puede afectar a las propiedades de color. Pérez-Alvarez *et al.* (2004) mencionan que en el color de los alimentos congelados influ-

yen diversos factores, todos ellos relacionados con las condiciones en las que se lleva a cabo la congelación y la conservación del producto congelado. Entre estos factores se puede destacar el contenido de humedad del producto, contenido de solutos "externos" (sal, fosfatos, polialcoholes, etc.), tipo y propiedades mecánicas del envase, etc. En el caso de los solutos, no solo actúan disminuyendo el punto de congelación del producto, sino que incluso, en algunos casos, pueden favorecer la formación de los núcleos de cristalización, con lo cual se forman mayor número de cristales de hielo y de menor tamaño, repercutiendo en una mayor calidad del producto congelado. Además, este mayor número de cristales de hielo modifica las propiedades ópticas del producto, y por ende el color del mismo.

Teniendo en cuenta las características de la CAMR, donde el deshuesado mecánico rompe la estructura de las fibras musculares en pequeñas partículas, siendo más accesibles a los factores que causan las alteraciones (Trindade *et al.*, 2000; Reynolds *et al.*, 2002), su manejo debe realizarse, fundamentalmente, en congelación. El almacenamiento en congelación de CAMR requiere especial atención debido a la posibilidad de que se produzca tanto oxidación de grasas como desnaturalización de proteínas, lo que podría reducir algunas de sus propiedades funcionales, entre ellas el color. Algunos de estos problemas podrían solventarse con el uso de crioprotectores (Ujittenboogaart *et al.*, 1993; Tomaniak *et al.*, 1998; Parkington *et al.*, 2000). La mayoría de los mono o disacáridos y varios polioles de bajo peso molecular, así como aminoácidos y ácidos carboxílicos, se han empleado como crioprotectores (Park *et al.*, 1988; Auh *et al.*, 1999; Wang y Xiong, 1999; Nowsad *et al.*, 2000; Parkington *et al.*, 2000; Herrera y Mackie, 2004). También se han empleado como crioprotectores sustancias de alto peso molecular, como maltodextrinas (Prabhu y Sebranek, 1996; Tomaniak *et al.*, 1998). En la industria del *surimi* y productos gelificados de carne, los crioprotectores más comúnmente usados

han sido azúcares y polioles como sacarosa y sorbitol. La elección de estas sustancias está condicionada por su bajo coste, facilidad de obtención y menor tendencia a provocar pardeamientos debidos a la reacción de Maillard en productos gelificados por calor.

La utilización de estos crioprotectores presenta el inconveniente de que, desde el punto de vista sensorial, algunos de ellos imparten un cierto sabor dulce a los productos gelificados tipo *surimi* (Auh *et al.*, 1999; Herrera y Mackie, 2004).

En la tabla 56 se expresan los valores obtenidos del análisis de la varianza de las coordenadas de color y magnitudes psicofísicas, índice de rojez e índices de blancura de la carne de ave mecánicamente recuperada para el factor aditivo de lavado y crioprotector empleado durante la congelación. En esta tabla, se puede apreciar que los factores estudiados resultaron significativos ( $P < 0,01$ ) para todas las variables e interacciones consideradas.

**Tabla 56.** Resultado del análisis de la varianza (ANOVA) de las variables físico-químicas, coordenadas de color y magnitudes psicofísicas e índice de rojez de la carne de ave mecánicamente recuperada para el factor aditivo de lavado y crioprotector y su interacción

| Variables | FACTORES      | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F      | P      |
|-----------|---------------|-------------------|--------------------|----------------|--------|--------|
| L*        | Aditivo       | 2050,24           | 3                  | 683,41         | 57,10  | 0,0000 |
|           | Crioprotector | 6286,23           | 6                  | 1047,71        | 87,53  | 0,0000 |
|           | Interacción   | 3009,81           | 4                  | 752,45         | 23,76  | 0,0000 |
| a*        | Aditivo       | 1165,75           | 3                  | 388,58         | 48,52  | 0,0000 |
|           | Crioprotector | 6328,25           | 6                  | 1054,71        | 131,71 | 0,0000 |
|           | Interacción   | 600,80            | 4                  | 150,20         | 20,52  | 0,0000 |
| b*        | Aditivo       | 66,85             | 3                  | 22,28          | 11,09  | 0,0000 |
|           | Crioprotector | 623,25            | 6                  | 103,88         | 51,67  | 0,0000 |
|           | Interacción   | 268,97            | 4                  | 67,24          | 30,49  | 0,0000 |
| C*        | Aditivo       | 561,83            | 3                  | 187,28         | 25,67  | 0,0000 |
|           | Crioprotector | 5138,86           | 6                  | 856,48         | 117,39 | 0,0000 |
|           | Interacción   | 202,71            | 4                  | 50,68          | 9,53   | 0,0000 |
| H*        | Aditivo       | 16762,10          | 3                  | 5587,37        | 14,22  | 0,0000 |
|           | Crioprotector | 15846,40          | 6                  | 2641,06        | 6,72   | 0,0000 |
|           | Interacción   | 9873,63           | 4                  | 2468,41        | 35,85  | 0,0000 |
| a*/b*     | Aditivo       | 9,74              | 3                  | 3,25           | 53,05  | 0,0000 |
|           | Crioprotector | 23,69             | 6                  | 3,95           | 64,51  | 0,0000 |
|           | Interacción   | 3,66              | 4                  | 0,91           | 30,72  | 0,0000 |
| IB1       | Aditivo       | 2350,47           | 2                  | 1175,23        | 35,55  | 0,0000 |
|           | Crioprotector | 8336,88           | 2                  | 4168,44        | 126,08 | 0,0000 |
|           | Interacción   | 2770,93           | 4                  | 692,73         | 20,95  | 0,0000 |
| IB2       | Aditivo       | 7716,99           | 2                  | 3858,49        | 55,59  | 0,0000 |
|           | Crioprotector | 12306,10          | 2                  | 6153,04        | 88,66  | 0,0000 |
|           | Interacción   | 2939,26           | 4                  | 734,81         | 10,59  | 0,0000 |

Al resultar significativos los factores aditivo de lavado y crioprotector, se procedió a realizar el test de Tukey para conocer entre qué aditivos de lavado y crioprotectores se presentaban diferencias significativas. En la tabla 57 se expresan los valores promedio de las coordenadas luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), índice de rojez e índices de blancura de la carne de ave mecánicamente recuperada para los distintos aditivos de lavado y crioprotectores estudiados.

**Tabla 57.** Valores medios de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), índice de rojez e índices de blancura de la carne de ave mecánicamente recuperada para los factores aditivo de lavado y crioprotector

|                   |          | $L^*$   | $a^*$  | $b^*$  | $H^*$  | $C^*$  | $a^*/b^*$ | IB1    | IB2    |
|-------------------|----------|---------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| Aditivo de lavado | BS       | 66,97c  | 5,49c  | 12,86b | 68,12a | 14,36b | 0,43c     | 64,86b | 28,43b |
|                   | AL       | 60,74a  | 1,20a  | 9,79a  | 83,78c | 9,90a  | 0,11a     | 58,72a | 32,41c |
|                   | NaCl     | 62,52b  | 3,52b  | 13,41c | 76,85b | 14,15b | 0,25b     | 59,80a | 22,00a |
| Crio-protector    | Control  | 58,88 a | 5,63b  | 12,31b | 68,14a | 13,88b | 0,43b     | 56,50a | 21,97a |
|                   | Sorbitol | 61,84b  | 2,23 a | 12,14b | 80,52b | 12,48a | 0,17a     | 59,43b | 25,60b |
|                   | TPS      | 69,49c  | 2,35a  | 11,63a | 80,10b | 13,04a | 0,18a     | 67,45c | 35,28c |

a-c: Letras diferentes, entre los niveles de un mismo factor, denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores medios.

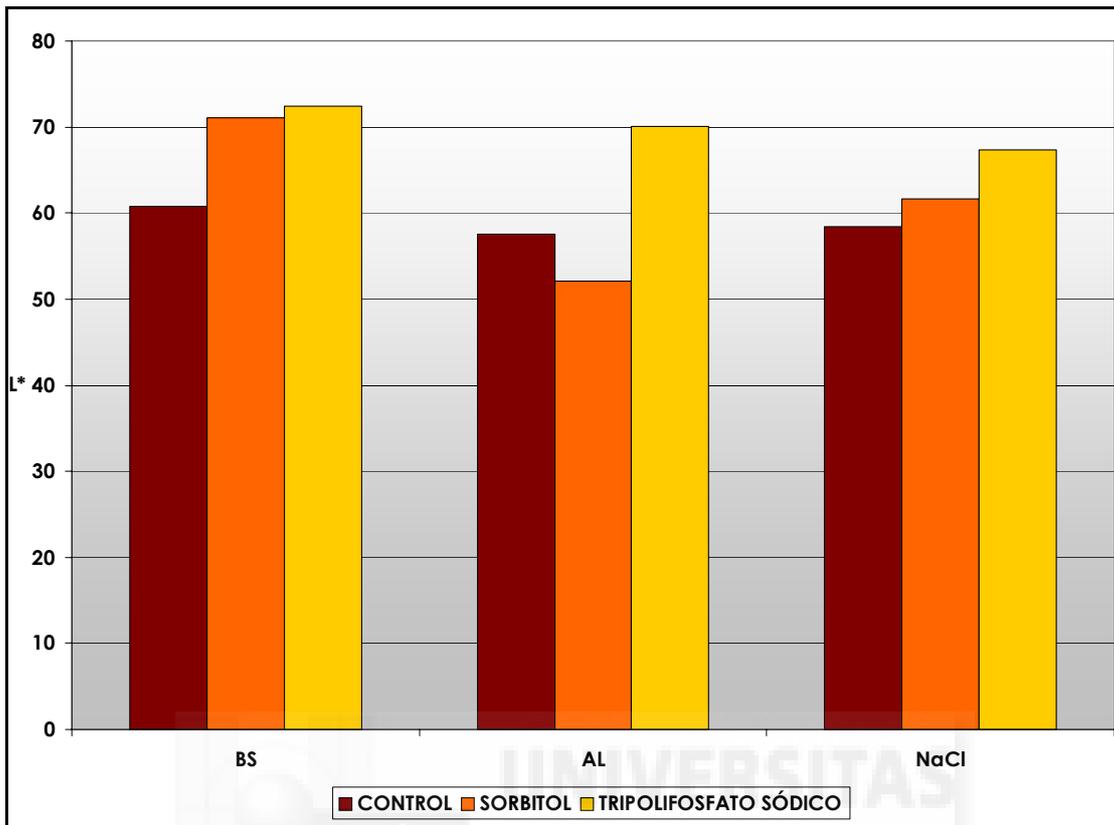
BS: Bicarbonato sódico; TPS: tripolifosfato sódico; AL: Ácido láctico

### Luminosidad ( $L^*$ )

Al analizar el factor aditivo de lavado, se puede apreciar que se presentaron diferencias significativas entre los 3 aditivos, siendo los mayores valores de  $L^*$  los obtenidos con bicarbonato sódico (BS), seguidos del cloruro sódico (NaCl) y del ácido láctico (AL).

Al analizar el factor crioprotector, se puede apreciar, en la tabla 57, que se presentaron diferencias significativas entre cada uno de los niveles de dicho factor. El uso de crioprotector, independientemente del tipo utilizado, incrementó los niveles de luminosidad de la muestra, siendo mucho más efectivo en dicho incremento el tripolifosfato sódico. Arakawa y Timasheff (1982) señalan que el uso de los crioprotectores en *surimi* previene la salida de las moléculas de agua de las proteínas, disminuyendo la disponibilidad de agua en superficie. Teniendo en cuenta este efecto, cabría esperar un efecto reductor de la  $L^*$  al usar los crioprotectores, sin embargo, el efecto observado ha sido el contrario. De acuerdo a Park (2000), el efecto del TPS como crioprotector durante el proceso de elaboración de *surimi*, no está suficientemente establecido, ya que no se sabe a ciencia cierta si actúa como quelante de metales (hierro por ejemplo) o como antioxidante. Sin embargo, este autor también describe que estos compuestos elevan el pH de las muestras, la capacidad de retención o ligazón de agua y mejoran la solubilización de las proteínas miofibrilares, reduciendo con ello su viscosidad. En el caso de la CAMR, el efecto del TPS sobre la  $L^*$  podría estar relacionado con su capacidad de quelar metales, “sequestrando” el hierro del grupo hemo de las hemoproteínas, reduciendo la disponibilidad de hemopigmentos, desde el punto de vista óptico, e incrementando por tanto la luminosidad. Además, como se observa en la tabla 57, el incremento en los valores de  $L^*$  por el uso de TPS es muy superior al observado en el caso de utilizar el sorbitol.

En la figura 69 se representa la interacción aditivo de lavado (ácido láctico, bicarbonato sódico y cloruro sódico) y crioprotector (sorbitol, TPS y muestra control) para la coordenada luminosidad ( $L^*$ ).



AL: Ácido láctico; BS: Bicarbonato sódico; NaCl: Cloruro sódico

**Figura 69.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y crioprotector para la coordenada luminosidad ( $L^*$ )

Al analizar la interacción aditivo de lavado y crioprotector, se puede apreciar que, para la carne lavada con BS, no existieron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los crioprotectores sorbitol y TPS, pero sí entre éstos y el resto (figura 69). El uso de TPS como crioprotector incrementó ( $P < 0,05$ ) los niveles de luminosidad en todos los casos, aunque dicho incremento dependió de la matriz (CAMR lavada con los distintos aditivos de lavado). El test de Scheffe señaló que, para el TPS y para el sorbitol, existieron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores de  $L^*$  de las 3 matrices estudiadas. En el caso de la matriz con AL, el sorbitol se comportó de forma diferente, provocando una disminución de los valores de  $L^*$ , lo cual podría indicar un efecto del

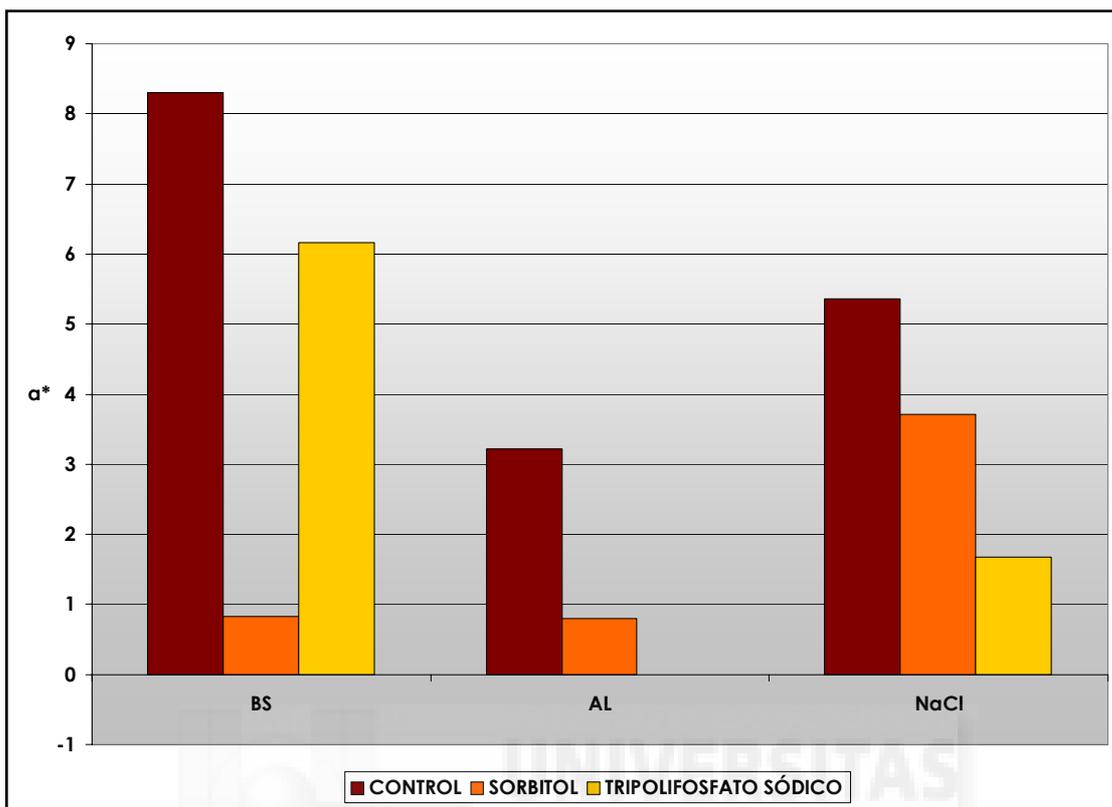
pH, pues se aprecia que éste varía en función de la acidez o alcalinidad del aditivo de lavado.

#### Coordenada rojo-verde( $a^*$ )

El ANOVA señaló que para todos los factores estudiados, así como su interacción, se presentaron diferencias significativas. Al analizar el factor crioprotector, se puede apreciar, en la tabla 57, que no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los valores de  $a^*$  de las muestras con TPS y sorbitol, pero sí ( $P < 0,05$ ) entre éstas y la muestra control (sin crioprotector). El uso de los crioprotectores, independientemente del crioprotector utilizado, disminuyó los valores de  $a^*$ , lo que indicaría que el uso de los mismos genera un efecto diluyente sobre los componentes que afectan al valor de esta coordenada. Si se sigue teniendo en cuenta como factor de calidad del proceso la pérdida de componentes rojos, la utilización de los crioprotectores sería una práctica deseable.

Al analizar el factor aditivo de lavado, se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) para los tres aditivos estudiados. Se puede apreciar que el menor valor de  $a^*$  correspondió al AL.

En la figura 70 se representa la interacción aditivo de lavado (ácido láctico, bicarbonato sódico y cloruro sódico) y crioprotector (sorbitol, TPS y muestra control) para la coordenada  $a^*$ .



**Figura 70.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y crioprotector para la coordenada rojo-verde ( $a^*$ )

Al analizar la interacción aditivo de lavado y crioprotector, se puede apreciar que, no existieron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) para las muestras tratadas con sorbitol y lavadas con BS y AL, pero sí entre éstos y el resto (figura 70). En esta coordenada no se observa un comportamiento definido para ninguno de los crioprotectores analizados.

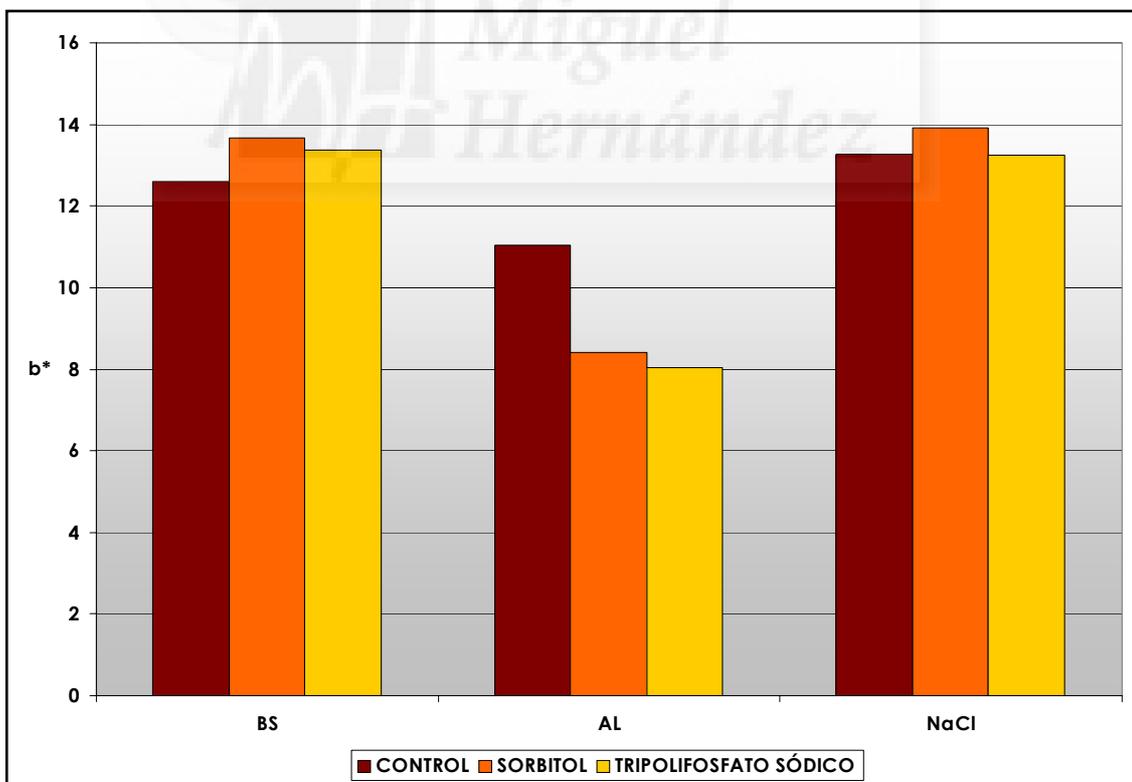
#### Coordenada amarillo-azul ( $b^*$ )

Al analizar el factor aditivo de lavado, se puede apreciar, que se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores de  $b^*$  para todos los aditivos (Tabla 57). No obstante, de acuerdo al criterio de Reppond y Babbitt (1997), las diferencias entre el BS y el cloruro só-

dico no tendrían sentido práctico, al ser inferiores a la unidad. Los menores valores de esta coordenada se obtuvieron para el AL.

Al analizar el factor crioprotector, se puede apreciar que, no se presentaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre el valor de  $b^*$  de la muestra control (sin crioprotector) y la muestra con sorbitol, pero sí entre estas dos y la muestra tratada con TPS (tabla 57). No obstante, al igual que lo comentado anteriormente, al ser las diferencias inferiores a la unidad en los 3 niveles, carecerían de sentido práctico (Repond y Babbit, 1997). Esto indicaría, que la incorporación de crioprotectores no modifica los valores de la componente amarilla del color.

En la figura 71 se representa la interacción aditivo de lavado (ácido láctico, bicarbonato sódico y cloruro sódico) y crioprotector (sorbitol, TPS y muestra control) para la coordenada  $b^*$ .



**Figura 71.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y crioprotector para la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ )

Al analizar la interacción aditivo de lavado y crioprotector, no se apreciaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ), en las muestras lavadas tanto con BS como cloruro sódico para ambos crioprotectores, ni entre ambos bloques (Figura 71). En el caso de las muestras tratadas con ácido láctico como aditivo de lavado ambos crioprotectores tampoco presentaron entre sí diferencias significativas, pero las diferencias fueron significativas ( $P<0,05$ ) cuando se compararon con el resto de niveles de todos los factores estudiados. En *surimi* de pescado la utilización de TPS incrementó, en mayor grado, los valores de esta coordenada (Hoke *et al.*, 2000) mientras que, en este trabajo, el efecto no fue tan claro, ya que en ninguna muestra obtenida con los distintos aditivos de lavado el valor de  $b^*$  fue muy superior al resto. Este comportamiento podría estar relacionado tanto con el porcentaje de grasa retenida por la matriz cárnica, como con los hemopigmentos (concentración y/o estado de los mismos) "retenidos", que contribuirían a que los efectos descritos en *surimi* de pescado quedasen encubiertos por estos componentes del producto, que se encuentran en bajas concentraciones en el pescado blanco aderezado en el *surimi*.

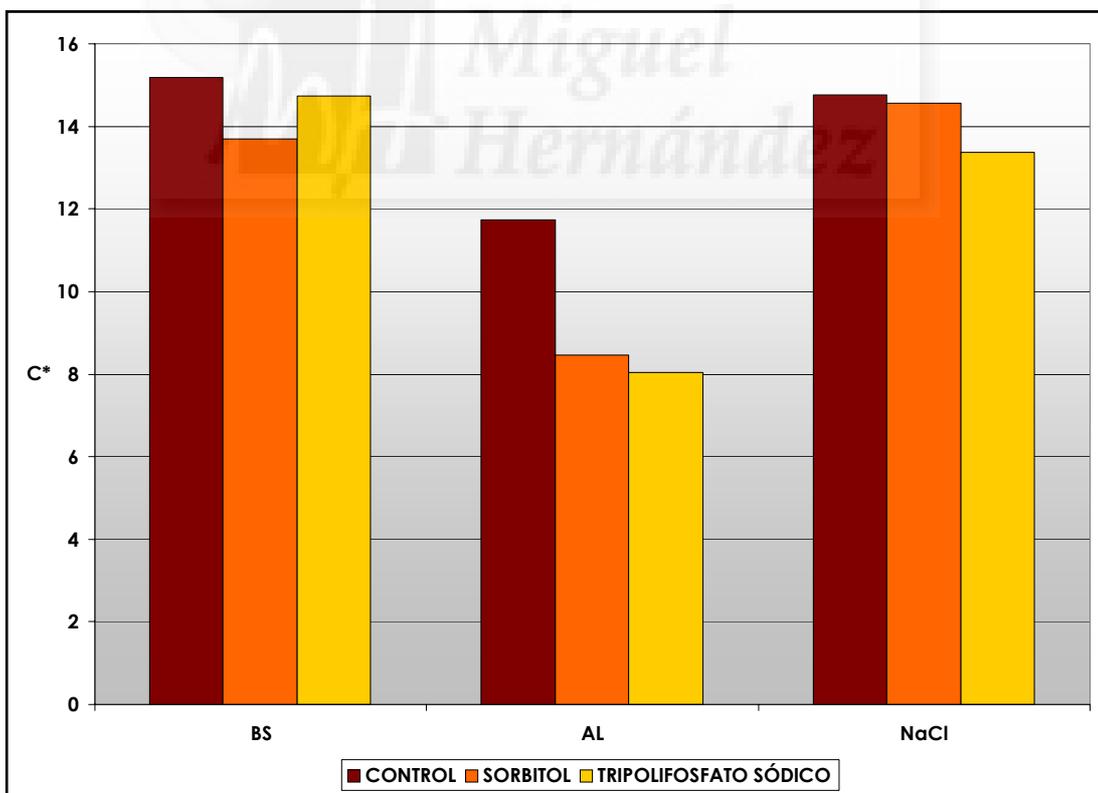
#### Magnitud psicofísica croma ( $C^*$ )

Al analizar el factor crioprotector, se puede apreciar, en la tabla 57, que no se presentaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre los valores de  $C^*$  para las muestras tratadas con TPS y sorbitol, pero sí entre estas dos y la muestra control, siendo inferiores sus valores en las muestras con crioprotectores ( $P<0,05$ ). Esto indicaría que el uso de estos compuestos incrementa la componente gris del color. Este comportamiento es similar al descrito para la coordenada rojo-verde, con lo cual se podría decir que, a efectos de los crioprotectores utilizados, el croma del producto es  $a^*$  dependiente y que la escala de grises

del producto dependerá de cómo se afecte la componente roja del mismo.

Al analizar el factor aditivo de lavado, se puede apreciar que, no se presentaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre los valores de  $C^*$  para las muestras lavadas con NaCl y BS, pero sí entre estas dos y la muestra lavada con AL. Las muestra tratadas con ácido láctico fueron las que mayor ( $P<0,05$ ) componente gris de color presentaron (Tabla 57).

En la figura 72 se representa la interacción aditivo de lavado (ácido láctico, bicarbonato sódico y cloruro sódico) y crioprotector (sorbitol, TPS y muestra control) para la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ).



**Figura 72.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y crioprotector para la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ )

Al analizar la interacción aditivo de lavado y crioprotector, se puede apreciar que no existieron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) en el caso de la CAMR lavada con AL, entre las muestras control y las tratadas con sorbitol, ni entre las muestras tratadas con sorbitol y TPS en las muestras lavadas con BS y cloruro sódico, respectivamente (Figura 72). Esto indicaría que el efecto del crioprotector sobre la componente gris del color en la CAMR depende del aditivo de lavado utilizado.

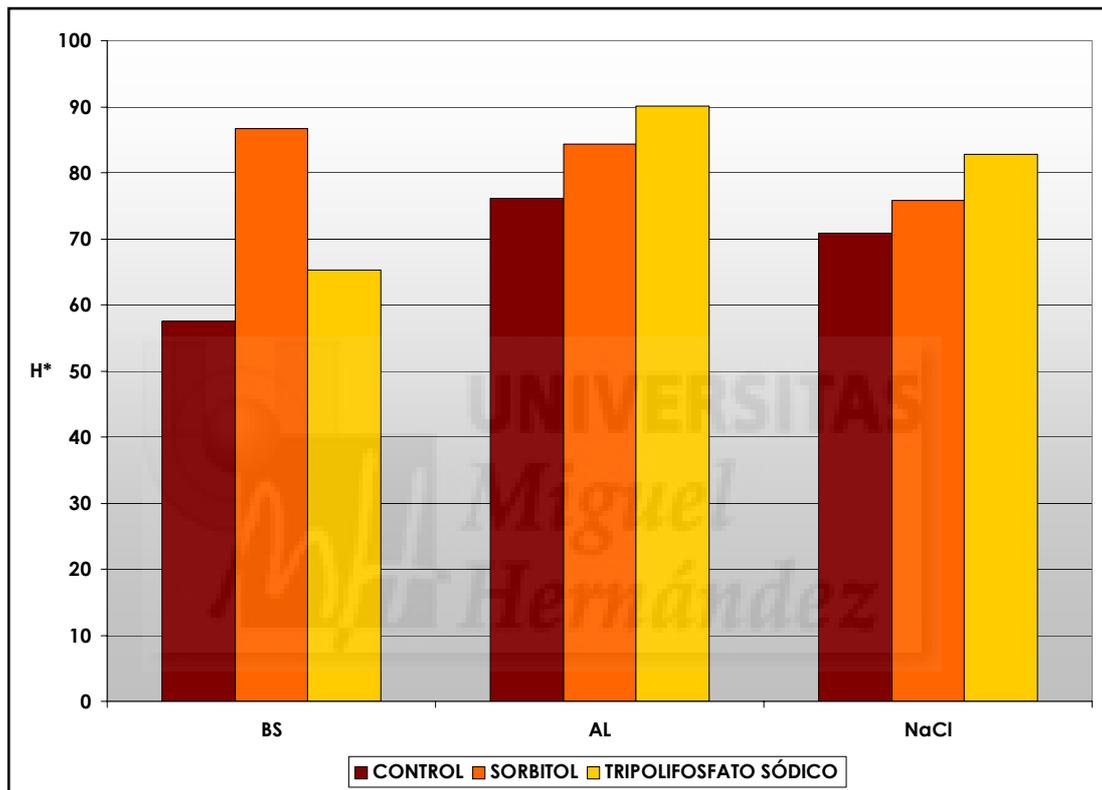
#### Magnitud psicofísica tono ( $H^*$ )

Al analizar el factor crioprotector, se puede apreciar que, en la tabla 57, no se presentaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre los valores de  $H^*$  de las muestras tratadas con sorbitol y TPS, pero sí entre estas dos y la muestra control. La incorporación de los crioprotectores, independientemente de su origen, incrementó el valor del tono. No obstante, todos los valores obtenidos, para cada uno de los niveles del factor analizado, quedaron comprendidos en el rango de los tonos naranjas ( $60-90^\circ$ ) de acuerdo con la nomenclatura cromática española (Instituto Español de Racionalización, 1981). Como se mencionó en apartados anteriores, el incremento en los valores del tono está relacionado con la pérdida o enmascaramiento de hemopigmentos en el producto.

Al analizar el factor aditivo de lavado, se puede apreciar que se presentaron diferencias significativas ( $P<0,05$ ) entre todos los niveles de dicho factor (tabla 57), siendo los valores de tono muy superiores en el caso de las muestras lavadas con ácido láctico, aspecto que ya se comentó en los apartados anteriores (4.3.1.1.1). No obstante, al igual que los valores obtenidos anteriormente, en todos los casos, los

resultados quedaron comprendidos también en el rango de los tonos naranjas (Instituto Español de Racionalización, 1981).

En la figura 73 se representa la interacción aditivo de lavado (ácido láctico, bicarbonato sódico y cloruro sódico) y crioprotector (sorbitol, TPS y muestra control) para la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ).



**Figura 73.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y crioprotector para la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ )

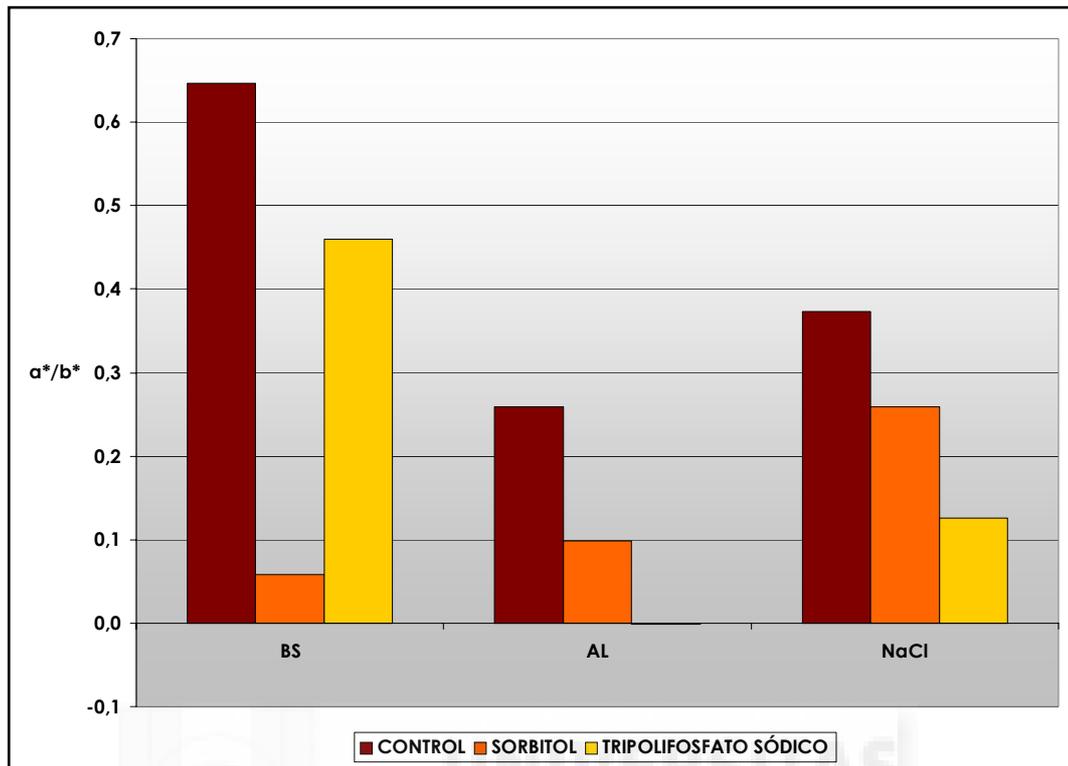
Al analizar la interacción aditivo de lavado y crioprotector, se puede apreciar que existieron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre todos los niveles de los dos factores considerados (Figura 73).

### Índice de rojez ( $a^*/b^*$ )

Al analizar el factor crioprotector, no se presentaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre los valores de  $a^*/b^*$  para las muestras tratadas con TPS y sorbitol, pero sí ( $P<0,05$ ) entre estas dos y la muestra control (Tabla 57). El uso de crioprotector, independientemente del crioprotector utilizado, provocó una disminución en el índice de rojez de las mismas.

Al analizar el factor aditivo de lavado, se puede apreciar que se presentaron diferencias significativas ( $P<0,05$ ) entre los valores de  $a^*/b^*$  para los tres aditivos estudiados (Tabla 57). Los mayores valores de este índice se obtuvieron con BS, seguidos de NaCl, siendo las muestras lavadas con AL las que presentaron los menores valores.

En la figura 74 se representa la interacción aditivo de lavado (ácido láctico, bicarbonato sódico y cloruro sódico) y crioprotector (sorbitol, TPS y muestra control) para el índice de rojez.



**Figura 74.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y crioprotector para el índice de rojez ( $a^*/b^*$ )

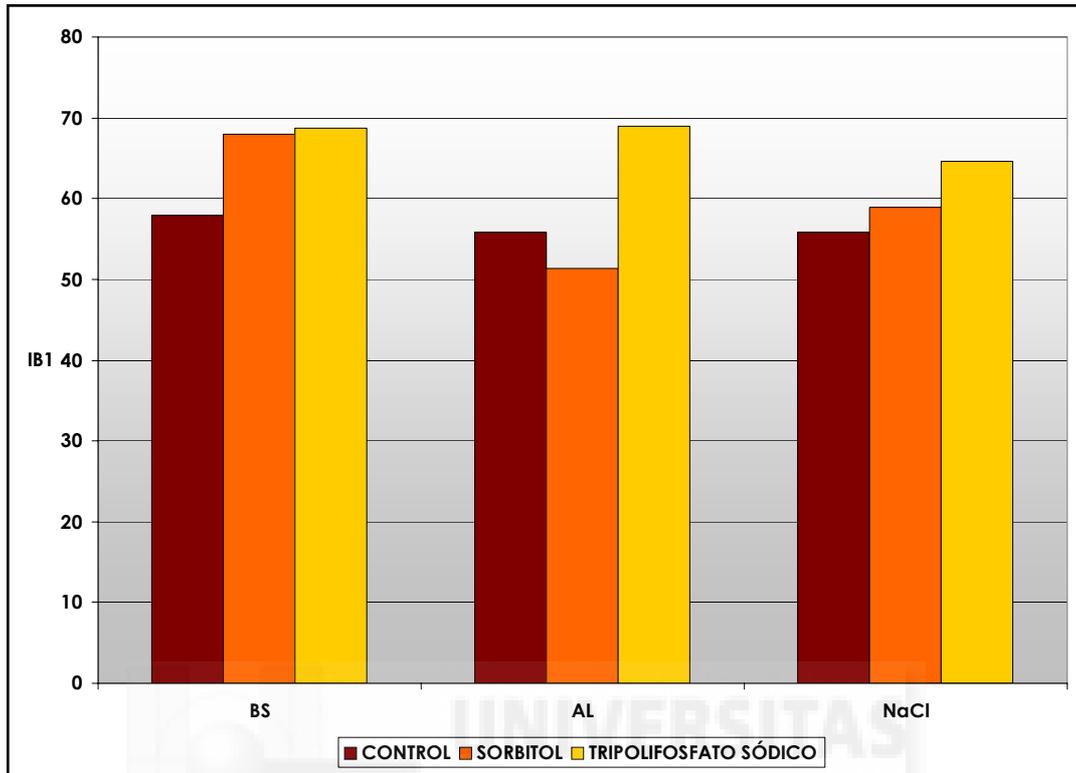
Al analizar la interacción aditivo de lavado y crioprotector, se puede apreciar que existieron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) para todos los niveles de los dos factores considerados (Figura 74). En las muestras lavadas con AL, el uso de TPS potenciaría la acción reductora del índice de rojez, tal y como ocurre durante el proceso de lavado del pescado, para la obtención de *surimi*. El TPS y el sorbitol actúan de forma diferente en función del aditivo de lavado utilizado: en las muestras lavadas con BS el crioprotector de elección sería el sorbitol, mientras que en las lavadas con NaCl, el crioprotector seleccionado sería el TPS.

### Índice de blancura 1 (IB1)

Al analizar el factor crioprotector, se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores de IB1 para los tres niveles estudiados (tabla 57). El uso de crioprotectores, independientemente del tipo, incrementó los valores del IB1, siendo superiores cuando se usó TPS.

Al analizar el factor aditivo de lavado, se puede apreciar que no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los valores de IB1 de la CAMR lavada con AL y NaCl, pero sí entre éstas y el valor del IB1 de la carne lavada con BS (tabla 57) presentándose, en este último caso, los mayores valores.

En la figura 75 se representa la interacción aditivo de lavado (ácido láctico, bicarbonato sódico y cloruro sódico) y crioprotector (sorbitol, TPS y muestra control) para el índice de blancura 1.



**Figura 75.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y crioprotector para el índice de blancura 1

Al analizar la interacción aditivo de lavado y crioprotector, se puede apreciar que no existieron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) para las muestras lavadas con BS, entre los valores del IB1 de la tratada con sorbitol y TPS pero sí entre estas dos y el resto (Figura 75). Atendiendo al criterio de seleccionar la combinación de aditivos de lavado/crioprotectores según el índice de blancura, sería el TPS el mejor crioprotector pues da los mayores valores de IB, para los tres aditivos de lavado empelados.

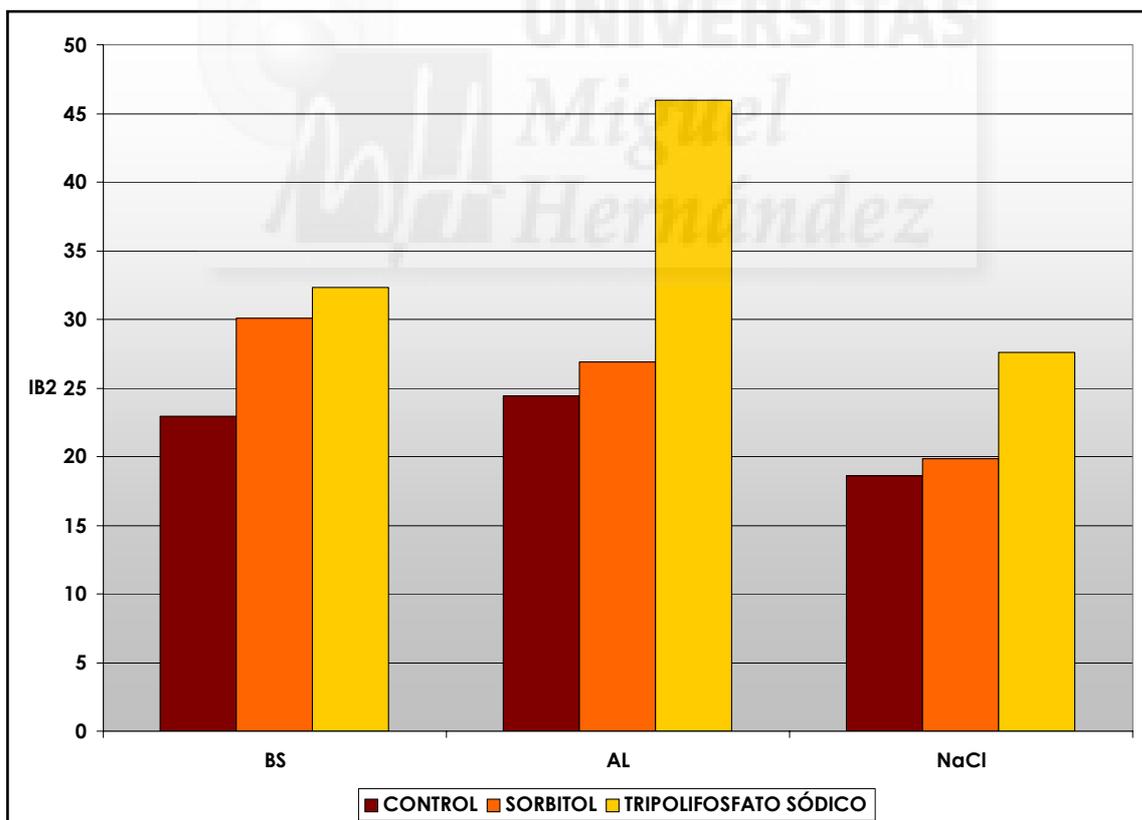
#### Índice de blancura 2 (IB2)

Al analizar el factor crioprotector, se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores de IB2 para los tres niveles estudiados. Al igual que lo observado para IB1, el uso de

crioprotectores incrementó los niveles de blancura, independientemente del tipo de crioprotector estudiado, presentándose los mayores valores para el TPS (Tabla 57).

Al analizar el factor aditivo de lavado, se puede apreciar que se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores del IB2 para los tres aditivos estudiados (tabla 57), presentando los mayores valores para este índice, las muestras que utilizaron AL como aditivo de lavado.

En la figura 76 se representa la interacción aditivo de lavado (ácido láctico, bicarbonato sódico y cloruro sódico) y crioprotector (sorbitol, TPS y muestra control) para el índice de blancura 2.



**Figura 76.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (AL, BS, NaCl) y crioprotector para el índice de blancura 2

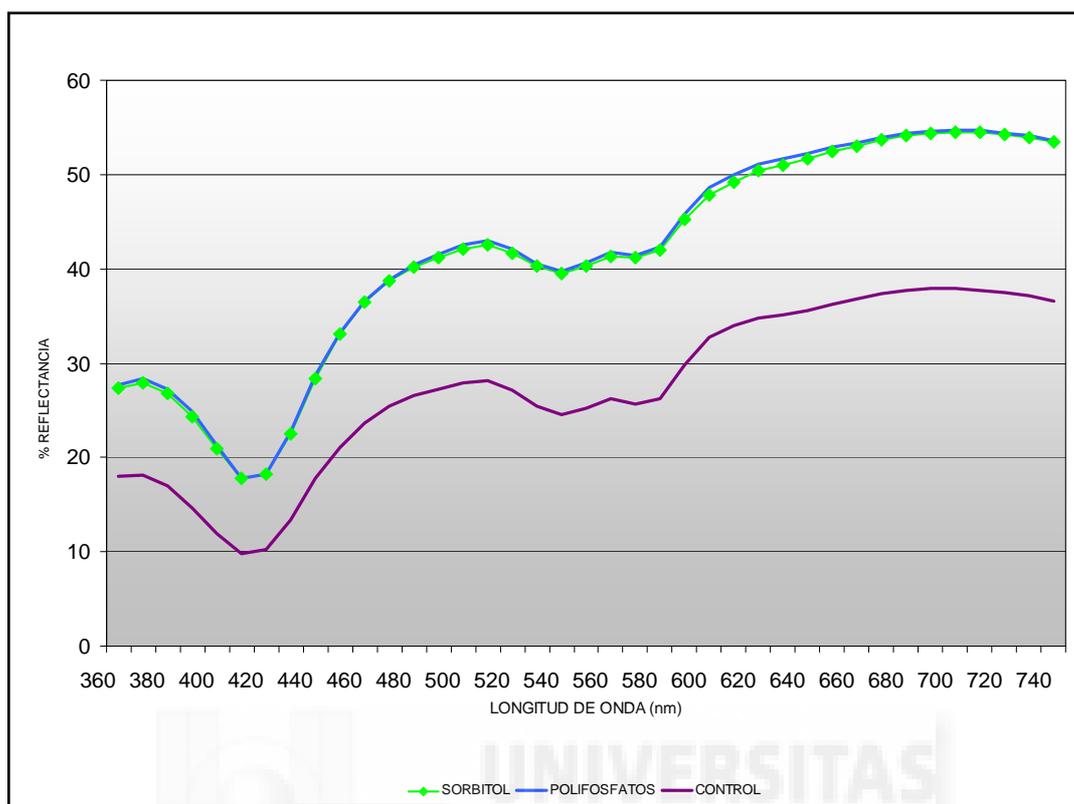
Al analizar la interacción aditivo de lavado y crioprotector, se

puede apreciar que no existieron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), para las muestras lavadas con AL, entre los valores de IB2 de la CAMR tratada con sorbitol y la muestra control ni, para las muestras lavadas con NaCl, entre los valores de IB2 de la CAMR tratada con sorbitol y la muestra control, pero sí entre éstos dos bloques y el resto (Figura 76). Este índice, así mismo, también señalaría al TPS como el crioprotector que mayores índices de blancura genera. Park (1994) señaló que este índice permite diferenciar el uso de aditivos en productos gelificados de pescado. El uso de este índice también ha permitido, en este trabajo, diferenciar tanto el uso de crioprotectores como el aditivo utilizado durante el proceso de lavado de la CAMR.

#### 4.3.2.1.2. Espectros de reflexión

##### 4.3.2.1.2.1. CAMR lavada con bicarbonato sódico

Los espectros de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada con bicarbonato sódico (0,25%) a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%), así como la muestra control (sin crioprotector) se presentan en la figura 77.

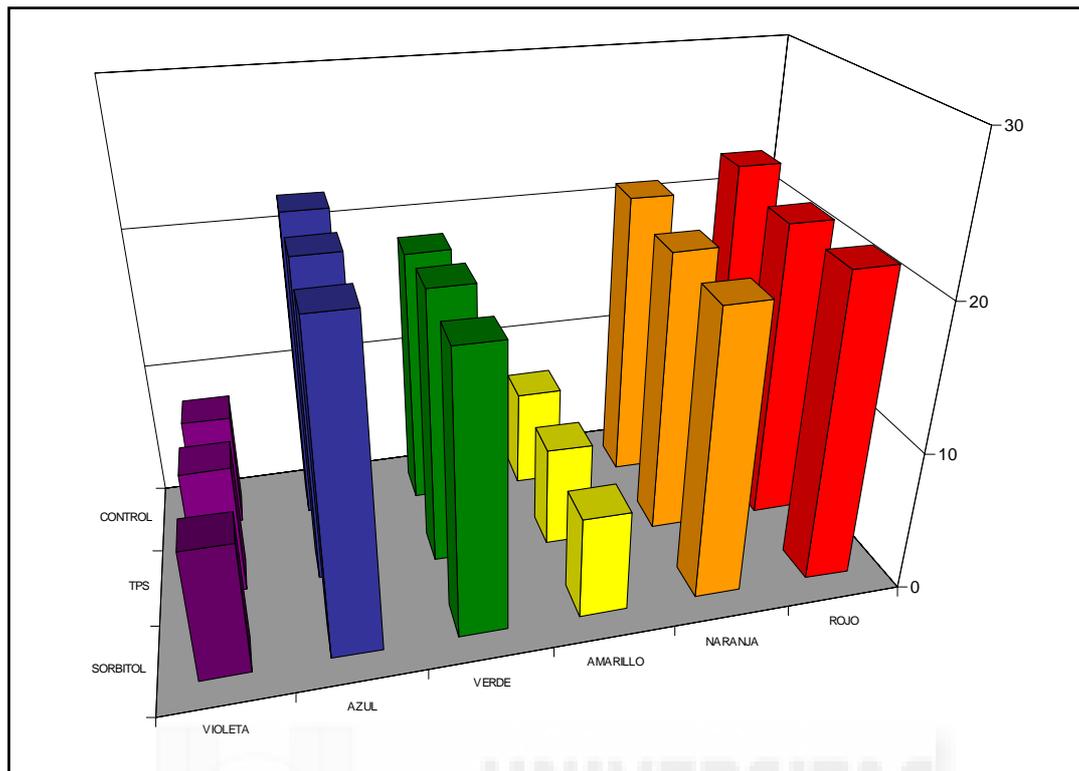


**Figura 77.** Espectros de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada con bicarbonato sódico a la que se le añadió como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%, así como la muestra control (sin crioprotector))

En la figura 77 se observa que el uso de crioprotector incrementó los niveles de reflectancia para todas las longitudes de onda analizadas. Además, la incorporación de ambos crioprotectores no afectó a la forma del espectro, manteniendo en ambos casos la misma forma que la muestra control (sin crioprotector). Este incremento en el porcentaje de reflectancia sería en parte responsable del incremento de luminosidad observado tras la incorporación de los crioprotectores (tabla 57). Analizando las distintas longitudes de onda, para cada uno de los tres espectros de forma separada, se puede apreciar que, no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre las longitudes de onda 360-380 nm, ni entre 490-520 nm, ni entre 670-740 nm, aunque sí entre las tres mesetas. Para todo el intervalo de longitudes de

onda estudiadas, no se observan diferencias significativas entre el valor del porcentaje de reflectancia para la carne tratada con sorbitol y TPS (figura 77). Los resultados son similares a los obtenidos en el apartado 4.3.1.1.2.1 salvo en la longitud de onda de 660 nm que es la única longitud diferente en las mesetas encontradas para la CAMR lavada con BS. 660 nm podría ser un marcador del uso de crioprotectores aunque más estudios deberían realizar al respecto.

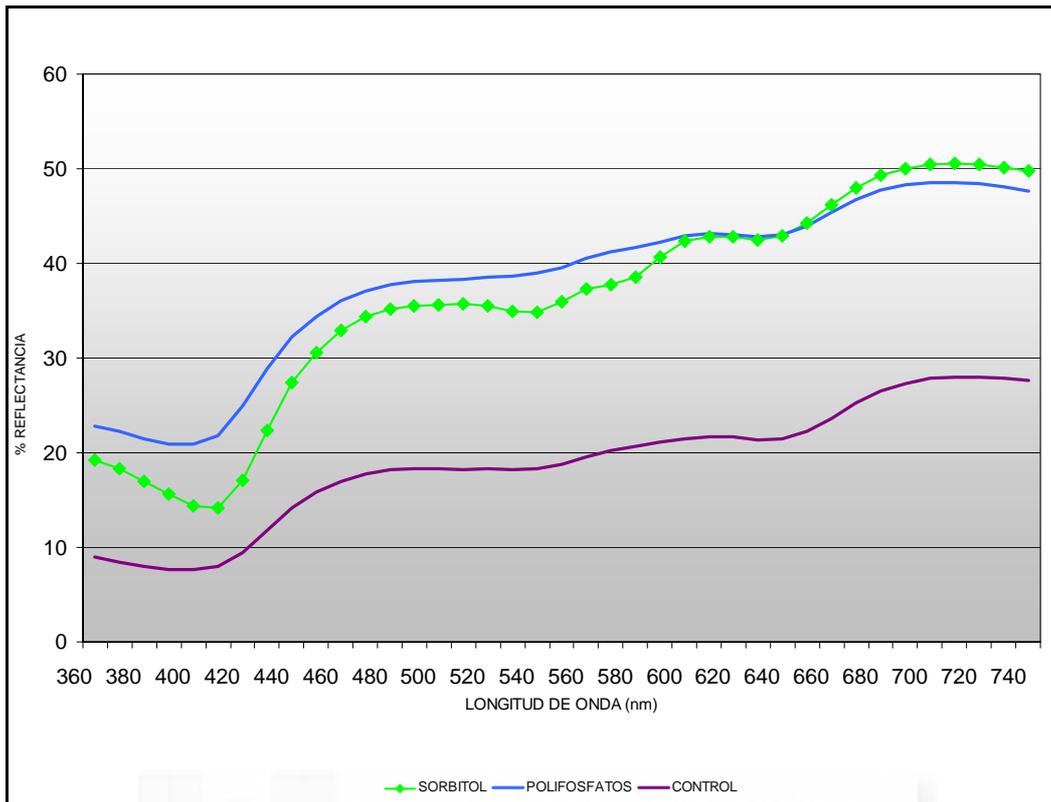
En la figura 78 se observa el porcentaje que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa respecto del área total del espectro de reflexión de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada con bicarbonato sódico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%), así como la muestra control (sin crioprotector). El análisis estadístico señaló que únicamente no se presentaron diferencias significativas entre las áreas del rojo, del naranja y del verde para ambos crioprotectores, pero sí entre éstas y el resto de áreas.



**Figura 78.** Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro (360-740 nm) de la CAMR lavada con bicarbonato sódico a la que se le añadió como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%) así como la muestra control (sin crioprotector)

#### 4.3.2.1.2.2. CAMR lavada con ácido láctico

Los espectros de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada con ácido láctico, a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%), así como la muestra control (sin crioprotector) se presenta en la figura 79.

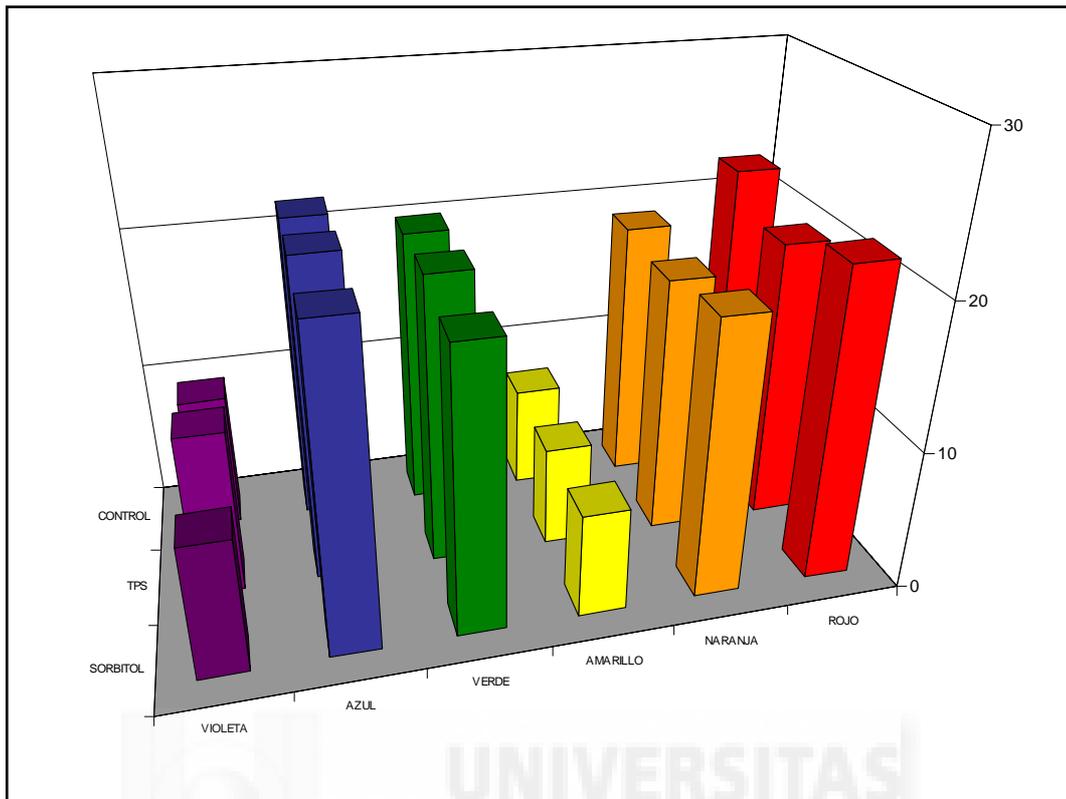


**Figura 79.** Espectros de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada con ácido láctico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%, así como la muestra control (sin crioprotector))

En la figura 79 se observa que la incorporación de TPS no modificó la forma del espectro (respecto de la muestra control), mientras que el uso del sorbitol sí provocó cambios en la forma de dicho espectro, siendo característico en el espectro de la muestra con sorbitol un acusado descenso entre las longitudes de 380 a 430 nm. Independientemente de esto, la incorporación de crioprotectores, para ambos tipos, incrementó los niveles de reflectancia en el intervalo de longitudes de onda estudiadas. Analizando las distintas longitudes de onda, para cada uno de los tres espectros de forma separada, se puede apreciar que, no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre las longitudes de onda 480-540 nm, ni entre 600-640 nm, ni entre 690-740 nm, aunque sí entre las tres mesetas. Desde 360 hasta 610 nm, el porcentaje de reflectancia para la carne tratada con TPS

fue superior al porcentaje de reflectancia para la carne tratada con sorbitol. De 610 hasta 640 nm, los porcentajes de reflectancia son iguales para ambas muestras y en el intervalo de 640-740 nm, el porcentaje de reflectancia para la carne tratada con sorbitol fue superior al porcentaje de reflectancia para la carne tratada con TPS (figura 79). A diferencia de lo obtenido en el apartado 431122 los espectros obtenidos con el uso de crioprotectores no modifican de forma importante los valores de longitudes de onda, mientras que en los lavados con ácido láctico diferencias entre 470-540 y 680-740 nm con el uso de crioprotectores los rangos fueron entre 480 y 540 nm y entre 600-640. Es en este aditivo dónde, a diferencia del BS una sola longitud de onda se diferenciaba de la carne lavada. Con el ácido láctico la longitud de 470 nm diferencia la CAMR lavada con ácido láctico de la CAMR lavada con ácido láctico con crioprotectores, así como el rango 600-640 y las longitudes de onda de 680 que no aparece en las muestras tratadas con crioprotectores, al igual que con las muestras de CAMR lavadas con BS y con uso de crioprotectores, las longitudes de onda de 470 y 680 nm podrían servir como indicadores del uso de crioprotectores en la CAMR lavada con AL.

En la figura 80 se observa el porcentaje que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa respecto del área total del espectro de reflexión de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada con ácido láctico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%), así como la muestra control (sin crioprotector).



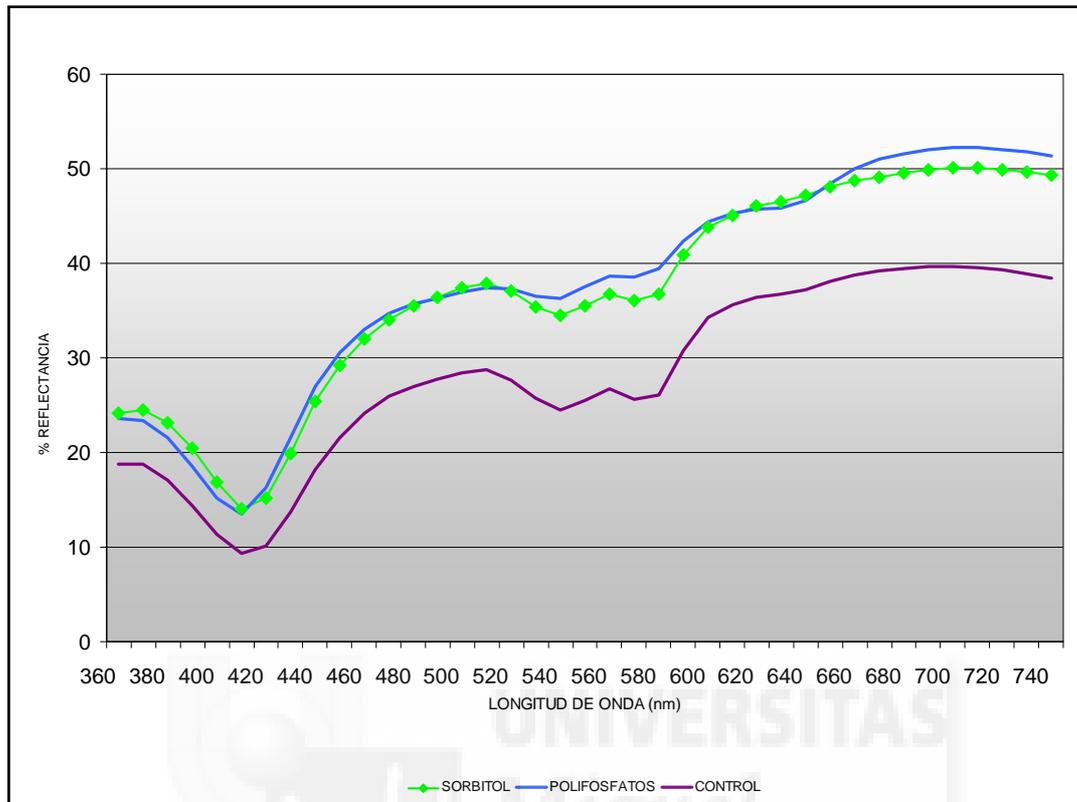
**Figura 80.** Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro (360-740 nm) de la CAMR lavada con ácido láctico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (TPS) (0,2%), así como la muestra control (sin crioprotector)

Al analizar estadísticamente los porcentajes que cada uno de los colores básicos representa respecto del área total del espectro se observó que se presentaron diferencias significativas entre todos los niveles estudiados para cada color básico.

#### 4.3.2.1.2.3. CAMR lavada con cloruro sódico

Los espectros de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada con cloruro sódico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%), así como la muestra control (sin crioprotector) se presenta en

la figura 81.



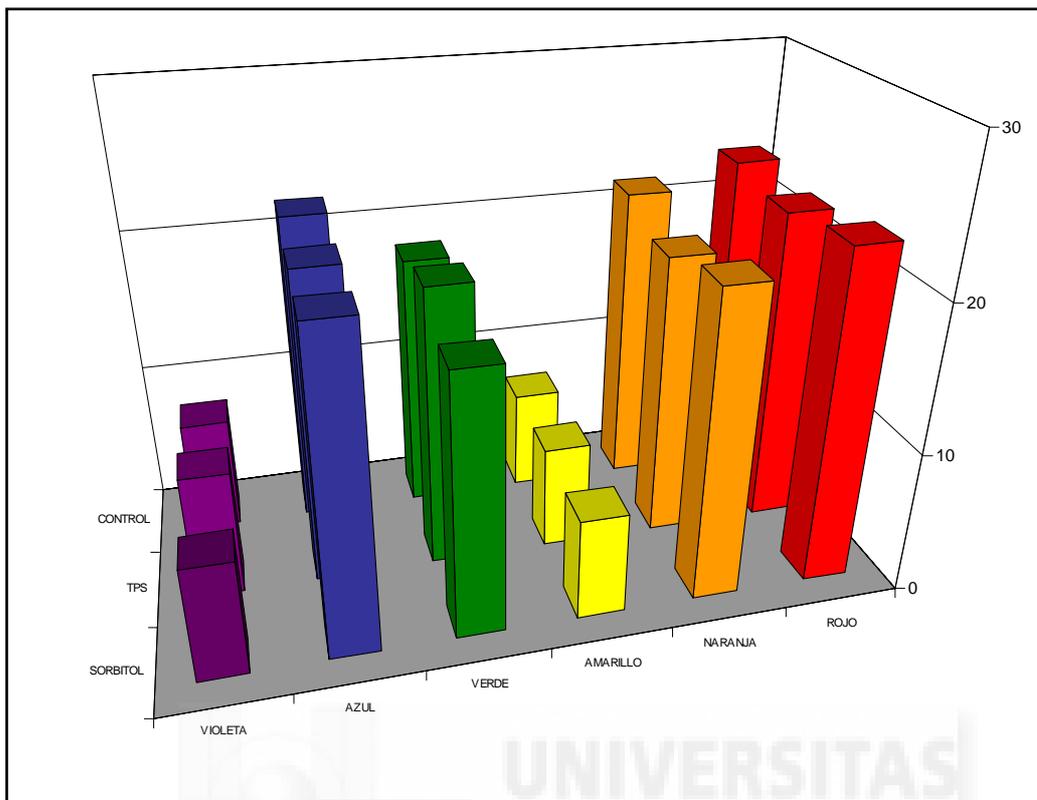
**Figura 81.** Espectros de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada con cloruro sódico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%)

En la figura 81 se puede observar como, al igual que en los casos anteriores, la incorporación de crioprotectores incrementó los porcentajes de reflectancia, respecto a la muestra control. Aunque la forma de los espectros para las muestras con crioprotectores son muy similares a la de la muestra control, el espectro de la muestra tratada con TPS presenta una mayor convexidad a partir de la longitud de onda de 650nm.

Para todo el intervalo de longitudes de onda estudiadas, se puede apreciar que, no se observan diferencias significativas entre el valor del porcentaje de reflectancia para la carne tratada con sorbi-

tol y TPS, salvo en el intervalo de 520-570 nm y en el intervalo 650-740 nm (figura 80). En ambos intervalos, la incorporación de sorbitol disminuyó los valores de reflectancia, respecto de los obtenidos con el TPS. A diferencia de lo observado en el apartado 431123 el uso de crioprotectores incrementó el número de mesetas donde no se encontraron diferencias significativas como es el caso de 520-570 nm que aparece en las muestras tratadas con crioprotectores y que no aparecen en las muestras lavadas únicamente con NaCl: otra diferencia es que en las muestras lavadas con sal, el rango 690-740 nm se ve ampliado con el uso de crioprotectores desde las longitudes de onda de 650-680 nm. Sin embargo, con los crioprotectores en las muestras lavadas con NaCl no aparecen longitudes de onda individuales como en el caso del uso de crioprotectores en CAMR lavada con BS y AL

En la figura 82 se observa el porcentaje que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa respecto del área total del espectro de reflexión de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada con cloruro sódico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%), así como la muestra control (sin crioprotector).



**Figura 82.** Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro (360-740 nm) de la CAMR lavada con cloruro sódico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%), así como la muestra control (sin crioprotector)

Al analizar estadísticamente los porcentajes que cada uno de los colores básicos representa respecto del área total del espectro se observó que se presentaron diferencias significativas entre todos los niveles estudiados para cada color básico (Figura 82).

#### 4.3.3. Etapa de gelificación

El proceso de elaboración de productos gelificados a partir de proteínas de origen animal depende, principalmente, de los siguientes factores (Lanier, 2000; Park, 2000; Uresti *et al.*, 2003): grado de desnaturalización de las proteínas miofibrilares previo a su procesamien-

to, especie animal (fundamentalmente por la diferente estabilidad térmica de las proteínas miofibrilares), actividad proteolítica de las enzimas endógenas, actividad oxidante de origen endógeno o exógeno y relación de las diferentes fracciones proteicas (miofibrilares, sarcoplásmicas y del estroma).

Lanier (2000) señala que un descenso acusado del pH afecta negativamente las propiedades de gelificación del *surimi*, ya que se acelera el proceso de desnaturalización proteica. Este comportamiento todavía no está completamente dilucidado, pues no se sabe a ciencia cierta el grado en el que las proteínas musculares mantienen sus propiedades funcionales, bajo dichas condiciones de proceso.

En el caso de la CAMR lavada con ácido láctico, después del tratamiento térmico, no se llevó a cabo el proceso de gelificación, permaneciendo la materia prima en su estado inicial. Este comportamiento estaría relacionado con el efecto del pH descrito por Lanier (2000). Al no conseguirse la gelificación de la CAMR lavada con ácido láctico, se descartó su uso para los siguientes estudios.

Además, en sistemas musculares de mamíferos y aves tratados térmicamente se debe considerar que, al no ser eliminados en su totalidad los hemopigmentos presentes en la materia prima, dicho tratamiento térmico favorecería la formación de metamioglobina. Osborn *et al.*, (2003) mencionan que, la formación de metamioglobina está relacionada con distintos sistemas enzimáticos reductores de la misma. En función de la temperatura se activa uno u otro sistema (la MMb reductasa, que se inactiva a 50°C y un sistema NADH-dependiente, que se inactiva a temperaturas superiores a 70°C).

#### 4.3.3.1. Color

##### 4.3.3.1.1. Parámetros de color

En la tabla 58 se expresan los valores obtenidos del análisis de la varianza de las coordenadas de color y magnitudes psicofísicas, índice de rojez e índices de blancura de la carne de ave mecánicamente recuperada para el factor aditivo de lavado y crioprotector empleado en la CAMR después de la gelificación. En esta tabla, se puede apreciar que los factores estudiados resultaron significativos ( $P < 0,01$ ) para todas las variables consideradas.



**Tabla 58.** Resultado del análisis de la varianza (ANOVA) de las coordenadas de color y magnitudes psicofísicas, índice de rojez e índices de blancura de la carne de ave mecánicamente recuperada, después de la gelificación, para el factor aditivo de lavado y crioprotector

| Variables | FACTORES      | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRADO MEDIO | F      | P      |
|-----------|---------------|-------------------|--------------------|----------------|--------|--------|
| L*        | Aditivo       | 210,159           | 1                  | 210,159        | 96,30  | 0,0000 |
|           | Crioprotector | 1078,110          | 2                  | 539,057        | 247,01 | 0,0000 |
|           | Interacción   | 151,216           | 2                  | 75,608         | 34,65  | 0,0000 |
| a*        | Aditivo       | 3,406             | 1                  | 3,406          | 33,38  | 0,0000 |
|           | Crioprotector | 1,449             | 2                  | 0,724          | 7,10   | 0,0000 |
|           | Interacción   | 22,250            | 2                  | 11,125         | 109,03 | 0,0000 |
| b*        | Aditivo       | 18,094            | 1                  | 18,094         | 53,58  | 0,0000 |
|           | Crioprotector | 29,372            | 2                  | 14,686         | 43,49  | 0,0000 |
|           | Interacción   | 18,143            | 2                  | 9,071          | 26,87  | 0,0000 |
| C*        | Aditivo       | 17,255            | 1                  | 17,255         | 55,03  | 0,0000 |
|           | Crioprotector | 29,081            | 2                  | 14,540         | 46,37  | 0,0000 |
|           | Interacción   | 15,668            | 2                  | 7,834          | 24,99  | 0,0000 |
| H*        | Aditivo       | 65,825            | 1                  | 65,825         | 29,73  | 0,0000 |
|           | Crioprotector | 38,913            | 2                  | 19,456         | 8,79   | 0,0000 |
|           | Interacción   | 408,270           | 2                  | 204,135        | 92,18  | 0,0000 |
| a*/b*     | Aditivo       | 0,020             | 1                  | 0,020          | 29,44  | 0,0000 |
|           | Crioprotector | 0,012             | 2                  | 0,006          | 8,82   | 0,0000 |
|           | Interacción   | 0,126             | 2                  | 0,063          | 91,96  | 0,0000 |
| IB1       | Aditivo       | 131,364           | 1                  | 131,364        | 55,36  | 0,0000 |
|           | Crioprotector | 1035,620          | 2                  | 517,810        | 218,21 | 0,0000 |
|           | Interacción   | 125,424           | 2                  | 62,712         | 26,43  | 0,0000 |
| IB2       | Aditivo       | 3,014             | 1                  | 3,014          | 0,32   | 0,0000 |
|           | Crioprotector | 2407,050          | 2                  | 1203,530       | 127,66 | 0,0000 |
|           | Interacción   | 268,756           | 2                  | 134,378        | 14,25  | 0,0000 |

Al resultar significativos los factores aditivo de lavado y crioprotector, se procedió a realizar el test de Tukey para conocer entre qué aditivos de lavado y crioprotectores se presentaban diferencias significativas. En la tabla 59 se expresan los valores promedio de las coordenadas luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), índice de rojez e índices de blancura de la carne de ave mecánicamente recuperada gelificada para los distintos aditivos de lavado y crioprotectores estudiados.

**Tabla 59.** Valores medios del test de Tukey de la coordenada luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ), magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ), magnitud psicofísica croma ( $C^*$ ), índice de rojez e índices de blancura de la carne de ave mecánicamente recuperada gelificada para los factores aditivo de lavado y crioprotector

|                   |          | $L^*$  | $a^*$  | $b^*$  | $H^*$   | $C^*$  | $a^*/b^*$ | IB1    | IB2    |
|-------------------|----------|--------|--------|--------|---------|--------|-----------|--------|--------|
| Aditivo de lavado | BS       | 71,93b | -0,89b | 14,01b | 93,79a  | 14,05b | -0,07b    | 58,72b | 32,41b |
|                   | NaCl     | 69,65a | -1,18a | 13,34a | 95,06b  | 13,40a | -0,09a    | 59,80a | 22,00a |
| Crioprotector     | Control  | 61,64a | -0,62a | 13,87c | 87,34a  | 14,06c | 0,05b     | 56,50a | 21,97a |
|                   | Sorbitol | 65,84b | -0,62a | 13,24b | 87,48ab | 13,44b | 0,05b     | 59,43b | 25,60b |
|                   | TPS      | 67,83c | -0,41b | 12,84a | 88,44b  | 13,10a | 0,03a     | 67,45c | 35,28c |

a-c: Letras diferentes, entre los niveles de un mismo factor, denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores medios

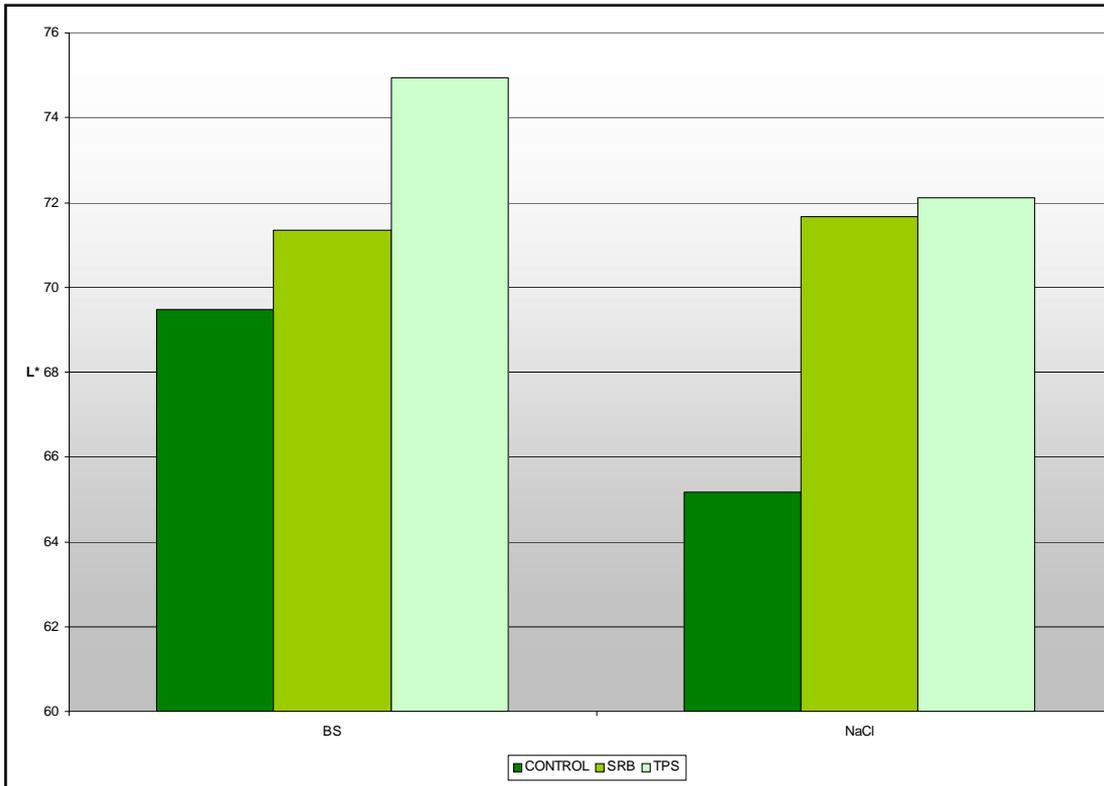
BS: Bicarbonato sódico; TPS: tripolifosfato sódico

### Luminosidad (L\*)

Al analizar el factor aditivo de lavado, el test de Tukey mostró que se presentaron diferencias significativas para todos los niveles de dicho factor ( $P < 0,05$ ). Se puede apreciar que los mayores valores de L\* se presentaron para el bicarbonato sódico (BS), por encima del valor de L\* de la carne lavada con cloruro sódico (NaCl), al igual que en apartados anteriores.

Al analizar el factor crioprotector, se puede apreciar, en la tabla 59, que se presentaron diferencias significativas entre cada uno de los niveles de dicho factor. El uso de crioprotectores incrementó los valores de L\* de las muestras, respecto de la muestra gelificada sin usar crioprotector. Los mayores valores de L\* se presentaron para la CAMR gelificada cuando se usó TPS como crioprotector. El comportamiento de la L\* durante el proceso de gelificación depende del tipo de crioprotector utilizado. En las muestras control y las congeladas con sorbitol, el proceso de gelificación incrementó su luminosidad (las muestras son más claras), mientras que las congeladas con TPS disminuyeron su luminosidad (se oscurecieron) durante dicho proceso. A pesar de ello, al final de la gelificación las muestras con TPS mantuvieron los mayores valores de L\*.

En la figura 83 se representa la interacción aditivo de lavado (bicarbonato sódico y cloruro sódico) y crioprotector (sorbitol, TPS y muestra control), para la coordenada luminosidad (L\*) de la CAMR gelificada.



BS: Bicarbonato sódico; NaCl: Cloruro sódico

**Figura 83.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS, NaCl) y crioprotector para la coordenada luminosidad ( $L^*$ )

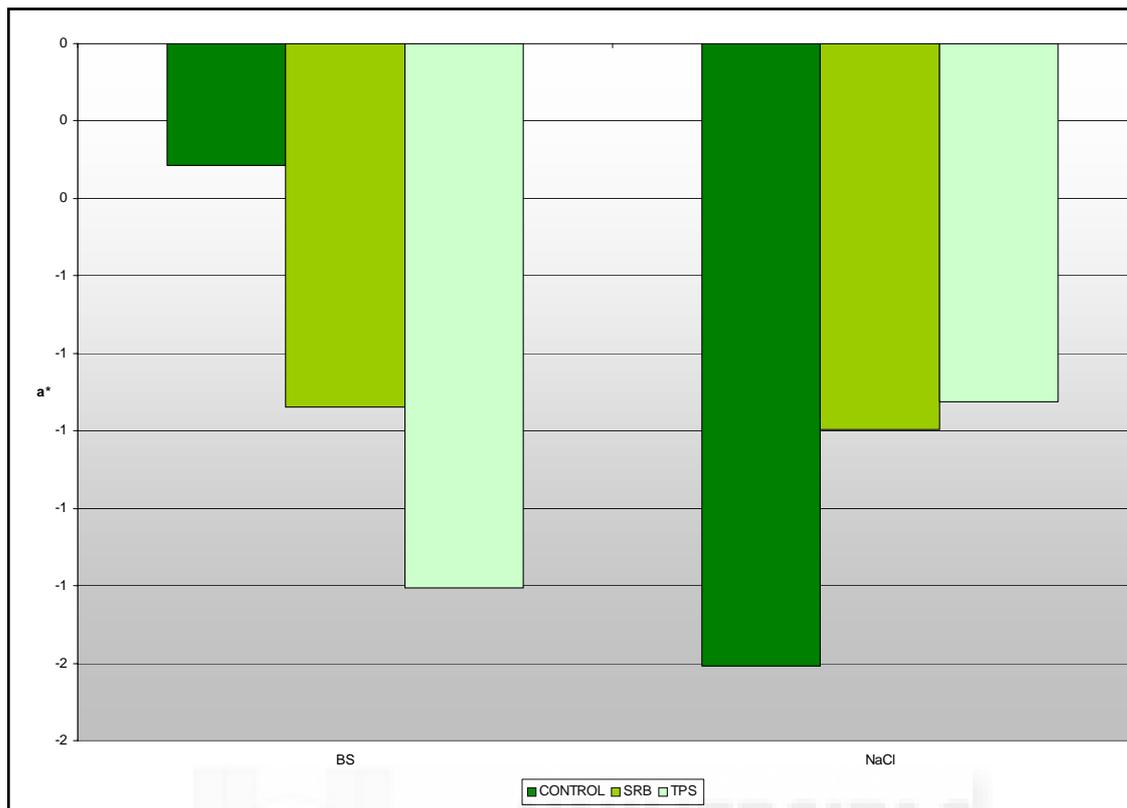
Al analizar la interacción aditivo de lavado y crioprotector, se puede apreciar que, para la carne lavada con BS, no existieron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre el valor de  $L^*$  de la muestra control (sin crioprotector) y la muestra tratada con sorbitol, pero sí entre éstas dos y la muestra tratada con TPS (Figura 83). Como sucedía después de la etapa de congelación, el uso de TPS como crioprotector dio lugar a muestras con una mayor luminosidad, debido a la misma razón que se describe en apartados anteriores. Para la carne lavada con NaCl no se presentaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre las muestras con crioprotectores, pero sí ( $P<0,05$ ) entre ellas y la muestra procesada sin usar crioprotector.

Coordenada rojo-verde(a\*)

Al analizar el factor aditivo de lavado, el test de Tukey mostró que se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) para los dos aditivos estudiados. Se puede apreciar que el menor valor de  $a^*$  correspondió al cloruro sódico, aunque al ser las diferencias inferiores a la unidad, carecerían de sentido práctico, de acuerdo al criterio de Reppond y Babbit (1997). Habría que destacar, que en ambos casos, los valores de  $a^*$  fueron negativos, aspecto "positivo" en este tipo de productos, ya que prácticamente habrían perdido los compuestos que contribuyen a la componente roja del color.

Al analizar el factor crioprotector, se puede apreciar, en la tabla 59, que no se presentaron diferencias significativas entre los valores de  $a^*$  de las muestras control (sin crioprotector) y la muestra tratada con sorbitol, pero sí entre éstas y la muestra tratada con TPS. Los menores valores de  $a^*$  se obtuvieron para las muestras con TPS, no obstante, desde el punto de vista práctico carecerían de sentido (Reppond y Babbit, 1997). Por lo tanto, se podría decir que a efectos de esta coordenada, la gelificación anula las diferencias, previamente existentes, por el uso o no de crioprotectores. La gelificación, independientemente del uso o no de crioprotectores, sería un efecto beneficioso, ya que elimina o enmascara los compuestos que contribuyen a la componente roja del color.

En la figura 84 se representa la interacción aditivo de lavado (bicarbonato sódico y cloruro sódico) y crioprotector (sorbitol, TPS y muestra control), para la coordenada rojo-verde  $a^*$  de la CAMR gelificada.



BS: Bicarbonato sódico; NaCl: Cloruro sódico

**Figura 84.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS, NaCl) y crioprotector para la coordenada rojo-verde ( $a^*$ )

Al analizar la interacción aditivo de lavado y crioprotector, se puede apreciar que, no existieron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ), para las muestras lavadas con cloruro sódico, entre las tratadas con sorbitol y TPS, ni entre éstas y la muestra lavada con BS y tratada con sorbitol, pero sí entre éstos y el resto (figura 84). A pesar de ello, como se ha comentado previamente, al ser diferencias inferiores a la unidad carecerían de sentido práctico.

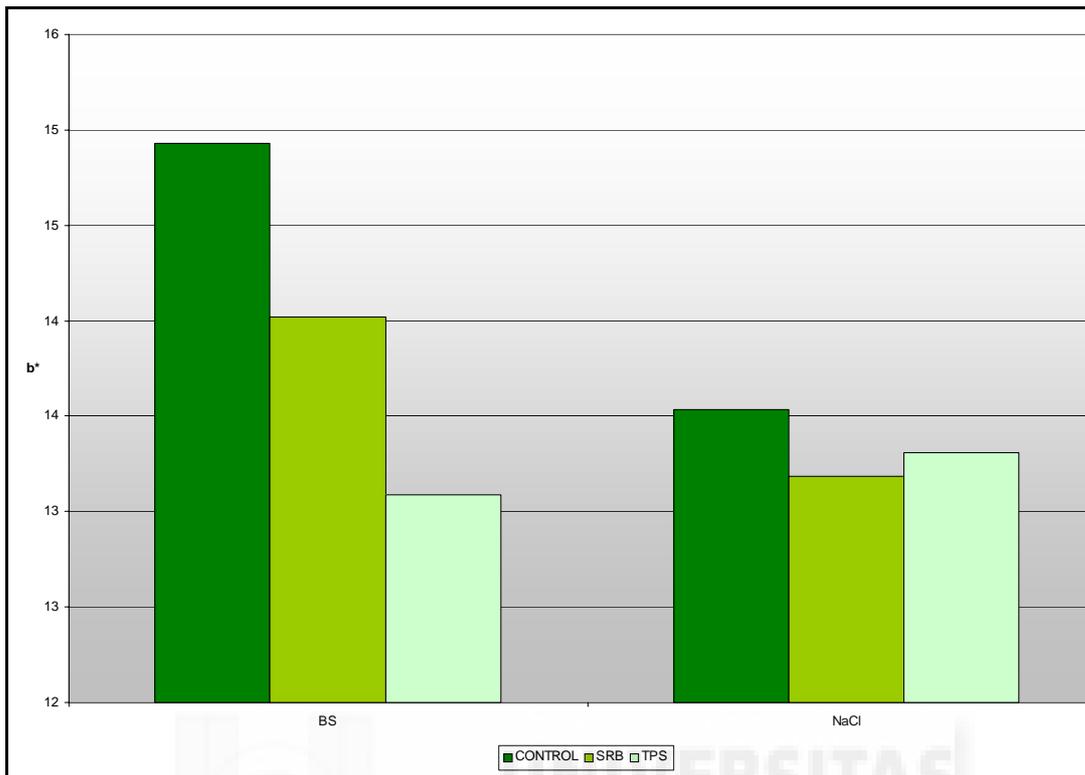
#### Coordenada amarillo-azul ( $b^*$ )

Al analizar el factor aditivo de lavado, se puede apreciar, que se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores de  $b^*$  para ambos aditivos de lavado. Los menores valores de  $b^*$  se obtuvieron para el NaCl, pero, al igual que lo observado para la coor-

denada  $a^*$ , al ser diferencias inferiores a la unidad, carecerían de sentido práctico. El efecto de la gelificación sobre el valor de esta coordenada varió en función del aditivo de lavado. En las muestras con TPS, la gelificación incrementó sus valores, mientras que no se modificaron cuando se usó NaCl.

Al analizar el factor crioprotector, se puede apreciar que, que se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre el valor de  $b^*$  de todas las muestras (tabla 59). El uso de crioprotectores disminuyó los valores de  $b^*$ , aunque al ser las diferencias entre los tres niveles inferiores a la unidad carecerían de sentido práctico. El proceso de gelificación incrementó los niveles de esta coordenada, manteniéndose las mismas diferencias que existían durante la etapa de congelación (apartado 4.3.2.1.1). El incremento de los valores de  $b^*$  por efecto del tratamiento térmico ha sido descrito por Perlo (1997) y Fernández-Ginés (2005). Estos autores señalan que este comportamiento se debe a los cambios de las estructuras del alimento al ser sometido a dicho tratamiento.

En la figura 85 se representa la interacción aditivo de lavado (bicarbonato sódico y cloruro sódico) y crioprotector (sorbitol, TPS y muestra control), para la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ) de la CAMR gelificada.



BS: Bicarbonato sódico; NaCl: Cloruro sódico

**Figura 85.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS, NaCl) y crioprotector para la coordenada amarillo-azul ( $b^*$ )

Al analizar la interacción aditivo de lavado y crioprotector, se puede apreciar que no existieron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ), en el caso de la CAMR lavada con NaCl, entre los valores de  $b^*$  de las muestras tratadas con sorbitol y TPS, y para las muestras lavadas con BS y tratadas con TPS, pero sí entre éstas y el resto (figura 85). Desde un punto de vista práctico, se observa que la gelificación es un proceso homogeneizador de la coordenada  $b^*$ , ya que anula los efectos individuales de los crioprotectores, aspecto que es especialmente notorio en el caso de las muestras lavadas con NaCl. Este fenómeno podría deberse más, a la formación en sí de la matriz del gel, que a los compuestos que contribuyen a la componente amarilla. Perlo (1997) describió un comportamiento similar durante el proceso de

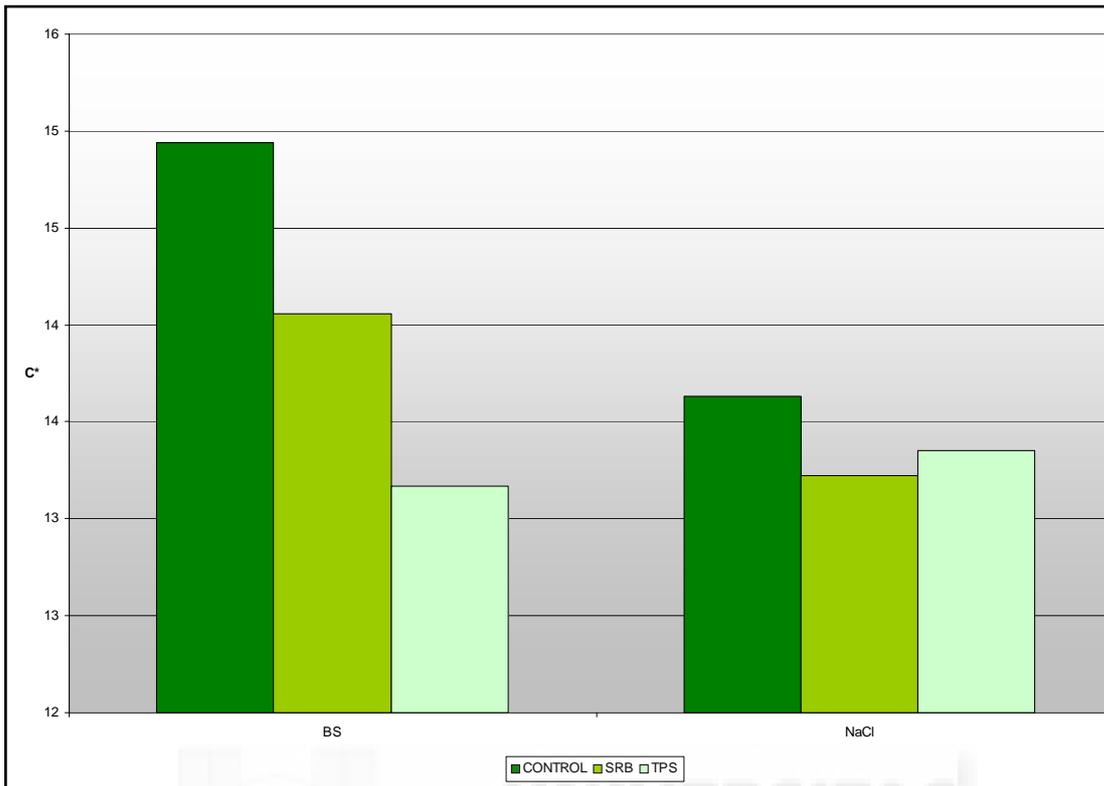
cocción de un producto emulsionado tipo pasta fina.

#### Magnitud psicofísica croma (C\*)

Al analizar el factor aditivo de lavado, se puede apreciar que se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores de C\* para la muestra lavada con NaCl y la muestra lavada con BS (Tabla 59). Los menores valores de croma se presentaron para las muestras lavadas con NaCl, si bien desde el punto de vista práctico carecen de sentido, lo cual indicaría que la gelificación, a efectos de saturación, homogeneizó las muestras.

Al analizar el factor crioprotector, se puede apreciar, en la tabla 59, que se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los valores de C\* para todas las muestras. La presencia de crioprotectores disminuyó el croma de las muestras, no obstante, al igual que lo ocurrido para el croma del factor aditivo de lavado, al ser las diferencias entre los 3 niveles, inferiores a la unidad, carecerían de sentido práctico.

En la figura 86 se representa la interacción aditivo de lavado (bicarbonato sódico y cloruro sódico) y crioprotector (sorbitol, TPS y muestra control) para la magnitud psicofísica croma (C\*) de la CAMR gelificada.



BS: Bicarbonato sódico; NaCl: Cloruro sódico

**Figura 86.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS, NaCl) y crioprotector para la magnitud psicofísica croma ( $C^*$ )

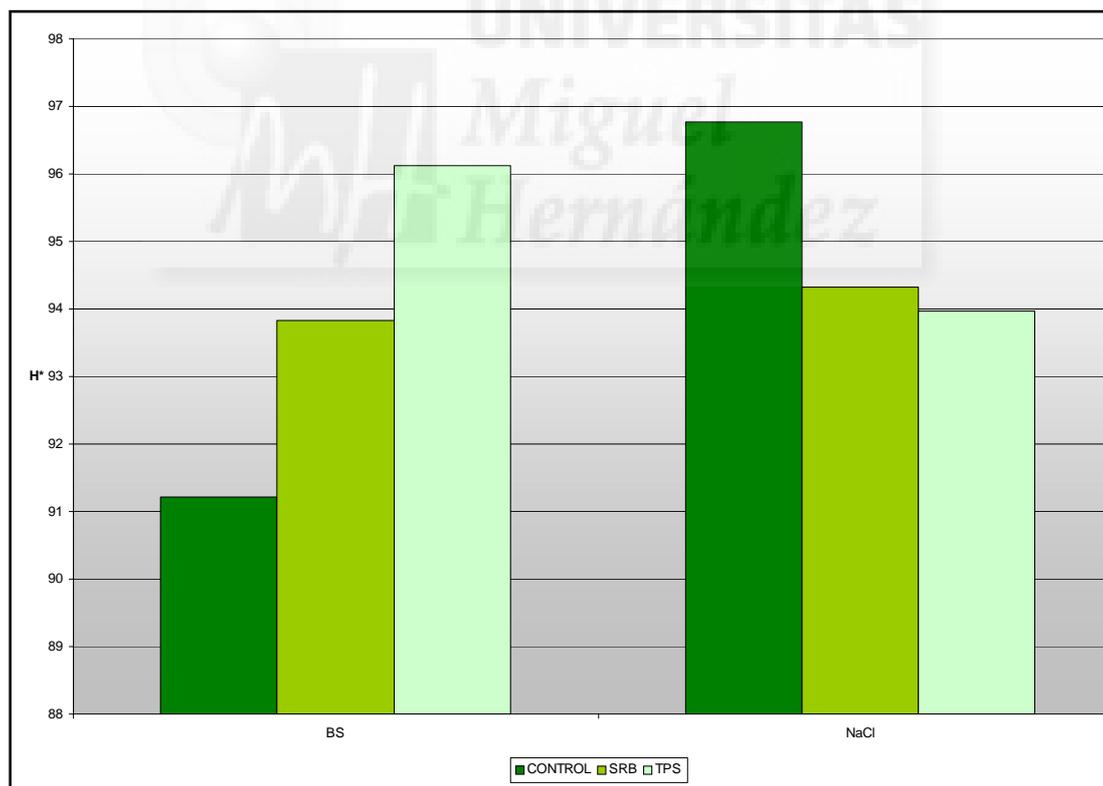
Al analizar la interacción aditivo de lavado y crioprotector, se puede apreciar que no existieron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ), en el caso de la CAMR lavada con NaCl, entre los valores de  $C^*$  de las muestras tratadas con sorbitol y TPS, pero sí entre éstas y el resto (figura 86). A nivel de saturación, los efectos de la gelificación son menos acusados en las muestras con NaCl que con BS.

#### Magnitud psicofísica tono ( $H^*$ )

Al analizar el factor aditivo de lavado, se puede apreciar que se presentaron diferencias significativas entre los valores de  $H^*$  de todas las muestras (tabla 59). Los valores de tono de estas muestras quedaron comprendidos en el rango de los tonos amarillos ( $90-120^\circ$ ).

Al analizar el factor crioprotector, se puede apreciar que, en la tabla 59, no se presentaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre los valores de  $H^*$  de la muestra control y la muestra tratada con sorbitol, ni entre la muestra tratada con sorbitol y la muestra tratada con TPS, pero si entre esta última y la muestra control. En este caso, todos los tonos de las muestras analizadas quedaron comprendidos en el rango de los tonos naranjas (60-90°).

En la figura 87 se representa la interacción aditivo de lavado (bicarbonato sódico y cloruro sódico) y crioprotector (sorbitol, TPS y muestra control) para la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ ) de la CAMR gelificada.



BS: Bicarbonato sódico; NaCl: Cloruro sódico

**Figura 87.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS, NaCl) y crioprotector para la magnitud psicofísica tono ( $H^*$ )

Al analizar la interacción aditivo de lavado y crioprotector, se puede apreciar que no existieron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) para el caso de la carne lavada con NaCl, entre las muestras tratadas con sorbitol y TPS, pero sí entre estas dos y el resto (Figura 87).

#### Índice de rojez ( $a^*/b^*$ )

Según Little (1976), y desde el punto de vista trigonométrico sobre el espacio de color, el cociente  $a^*/b^*$  tiene sentido únicamente cuando los valores de ambas coordenadas se localizan en el primer cuadrante de los ejes cartesianos ( $x+$ ,  $y+$ ). Tras la gelificación se observa que, para todas las muestras, los valores de  $a^*$  fueron negativos, por lo tanto dicho índice no tendría sentido y por ende no se discute en este apartado.

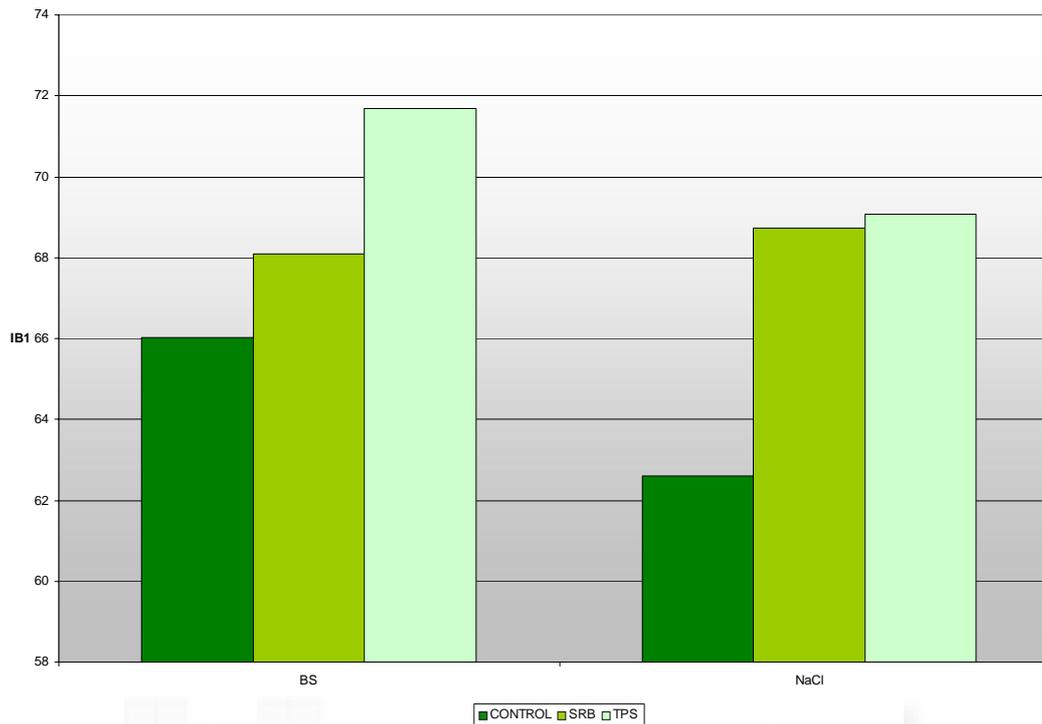
#### Índice de blancura I

Al analizar el factor aditivo de lavado, se puede apreciar que se presentaron diferencias significativas ( $P<0,05$ ) entre los valores de IB1 para todas las muestras consideradas (Tabla 59). Los mayores valores de blancura se obtuvieron para las muestras lavadas con NaCl.

Al analizar el factor crioprotector, se presentaron diferencias significativas ( $P<0,05$ ) entre los valores de IB1 para todos los crioprotectores estudiados y la muestra control. El uso de crioprotectores, independientemente del tipo, incrementó la blancura de la CAMR tras su gelificación. Dicho incremento fue mucho mayor en el caso del uso del TPS.

En la figura 88 se representa la interacción aditivo de lavado (bicarbonato sódico y cloruro sódico) y crioprotector (sorbitol, TPS y

muestra control) para el índice de blancura1 de la CAMR gelificada.



BS: Bicarbonato sódico; NaCl: Cloruro sódico

**Figura 88.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS, NaCl) y crioprotector para el índice de blancura (IB1)

Al analizar la interacción aditivo de lavado y crioprotector, se puede apreciar que no existieron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) para el caso de la carne lavada con NaCl, entre las muestras tratadas con sorbitol y TPS, pero sí entre estas dos y el resto. Los mayores valores de blancura se obtuvieron para las muestras lavadas con BS y en las que se usó TPS como crioprotector (Figura 88). En el caso de que este índice se considerase como el único factor para seleccionar las condiciones del proceso, esta combinación de aditivo de lavado y crioprotector sería la más adecuada.

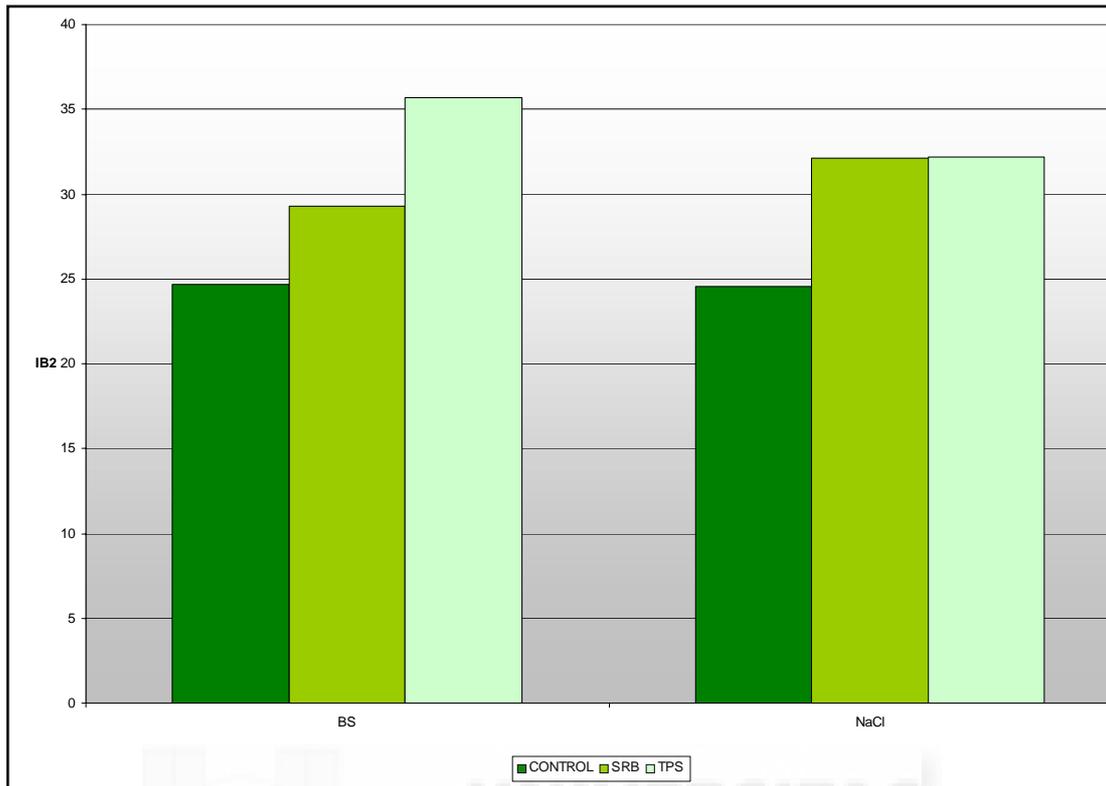
### Índice de blancura 2

Al analizar el factor aditivo de lavado, se puede apreciar que se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores del

IB2 para ambos aditivos estudiados (Tabla 59). Los mayores valores de blancura se presentaron para las muestras lavadas con BS. Hay que destacar, que si bien con la aplicación del IB1 las diferencias entre los valores de las muestras lavadas con BS y con NaCl estaban en torno a la unidad, en el caso de la aplicación del IB2, dichas diferencias son muy superiores (aprox. 10 unidades).

Al analizar el factor crioprotector, se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores de IB2 para las tres muestras estudiadas (Tabla 59). Al igual que lo observado con el otro índice de blancura, el uso de crioprotectores incrementó los valores de blancura de las muestras tras la gelificación, siendo también dicho incremento muy superior cuando se usó TPS.

En la figura 89 se representa la interacción aditivo de lavado (bicarbonato sódico y cloruro sódico) y crioprotector (sorbitol, TPS y muestra control) para el índice de blancura 2 de la CAMR gelificada.



BS: Bicarbonato sódico; NaCl: Cloruro sódico

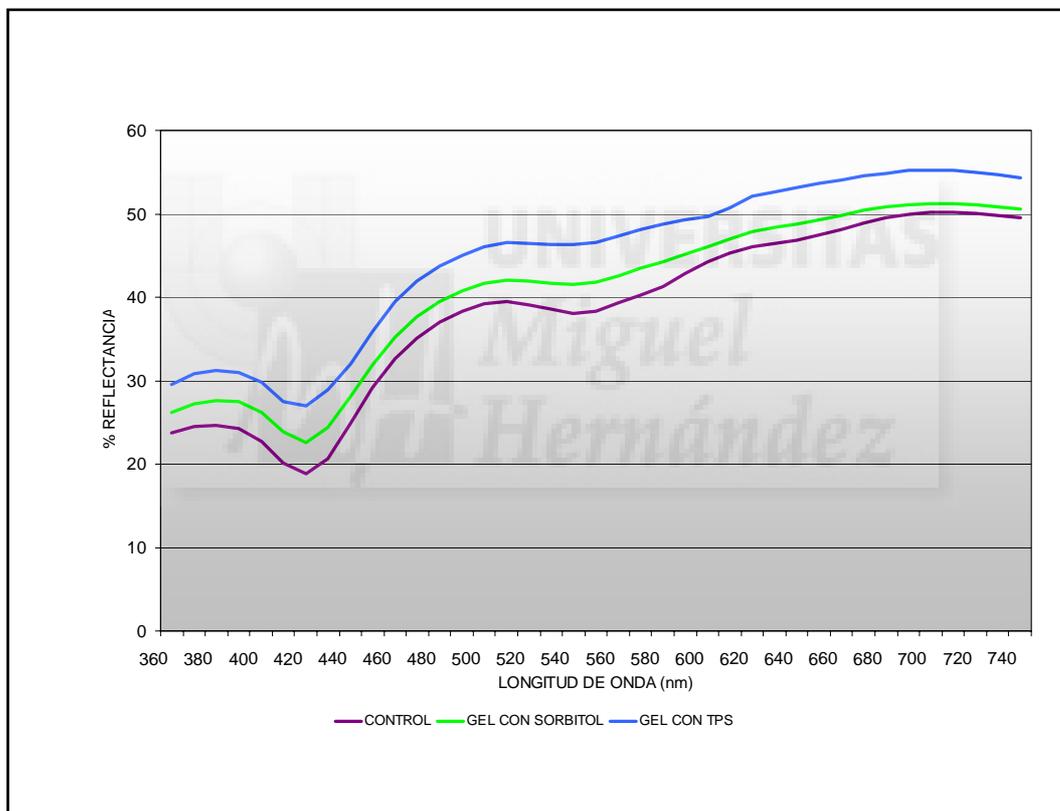
**Figura 89.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS, NaCl) y crioprotector para el índice de blancura (IB2)

Al analizar la interacción aditivo de lavado y crioprotector, se puede apreciar que no existieron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) para el caso del carne lavada con NaCl, entre las muestras tratadas con sorbitol y TPS, pero sí entre estas dos y el resto (Figura 89). Los mayores valores de blancura se obtuvieron para las muestras lavadas con BS y en las que se usó TPS como crioprotector. Al igual que lo comentado para el IB1, en el caso de que este índice se considerase como el único factor para seleccionar las condiciones del proceso, esta combinación de aditivo de lavado y crioprotector sería la más adecuada.

#### 4.3.3.1.2. Espectros de reflexión

##### 4.3.3.1.2.1. CAMR lavada con bicarbonato sódico

Los espectros de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada con bicarbonato sódico, a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%), después de la etapa de gelificación se presentan en la figura 90.

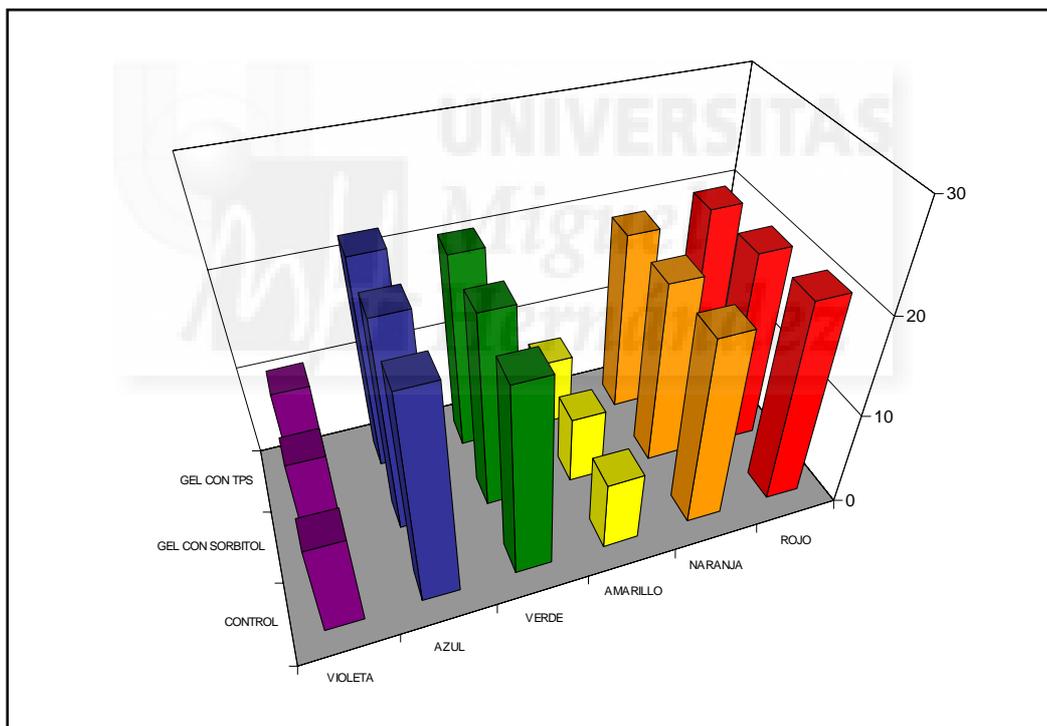


**Figura 90.** Espectros de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada con bicarbonato sódico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%) después de la etapa de gelificación

La presencia de crioprotectores ocasionó un incremento en la reflexión de las muestras, en todo el rango del espectro visible, des-

pués de la gelificación de las mismas (Figura 90). La forma del espectro comprendida en la zona entre 400-460 nm, se mantuvo, en todos los casos, después del proceso de gelificación. De 660 a 740 nm, no se detectaron diferencias significativas para ninguno de los tres espectros.

En la figura 91 se observa el porcentaje que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa respecto del área total del espectro de reflexión de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada con bicarbonato sódico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%) después de la etapa de gelificación.



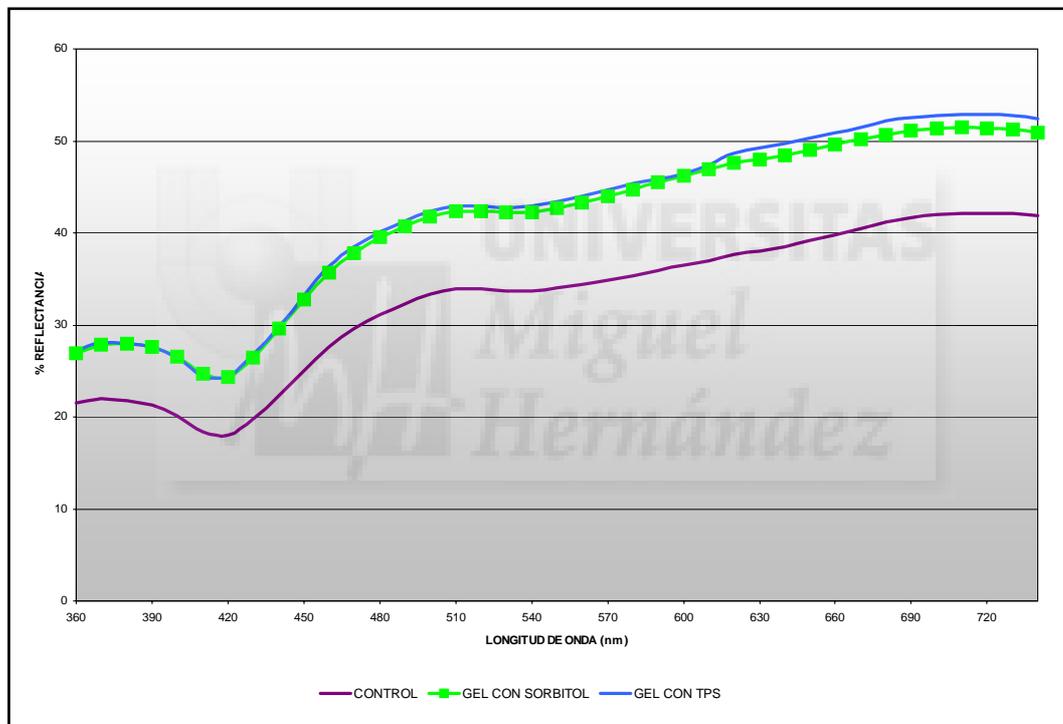
**Figura 91.** Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro (360-740 nm) de la CAMR lavada con bicarbonato sódico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%) después de la etapa de gelificación

Para las áreas del espectro correspondientes a los colores na-

ranja y rojo no se presentaron diferencias significativas entre los tres espectros analizados (Figura 91)

#### 4.3.3.1.2.2. CAMR lavada con cloruro sódico

Los espectros de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada con cloruro sódico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%), después de la etapa de gelificación se presentan en la figura 92.

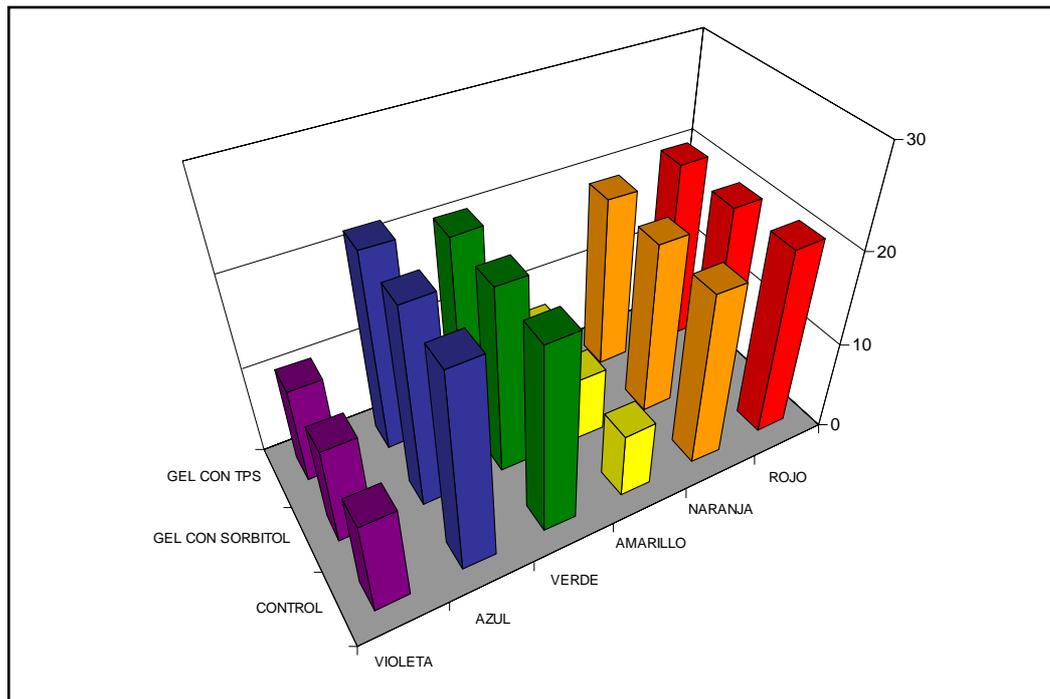


**Figura 92.** Espectros de reflexión (360-740 nm) de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada con cloruro sódico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%) después de la etapa de gelificación

En dicha figura se puede apreciar que no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los espectros de las muestras lavadas con NaCl y gelificadas tras la aplicación de crioprotectores, pero sí ( $P < 0,05$ ) entre estas muestras y las gelificadas sin haber usado crio-

protector. El uso de crioprotectores incrementó los valores de reflexión de las muestras durante todo el rango de longitudes de onda analizadas. Al igual que con el uso de BS, la forma del espectro comprendida en la zona entre 400-460 nm, se mantuvo, en todos los casos, después del proceso de gelificación.

En la figura 93 se observa el porcentaje que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa respecto del área total del espectro de reflexión de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada con cloruro sódico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%) después de la etapa de gelificación. Al analizar estadísticamente los porcentajes que cada uno de los colores básicos representa respecto del área total del espectro se observó que se presentaron diferencias significativas entre todos los niveles estudiados para cada color básico.



**Figura 93.** Porcentajes que cada uno de los colores básicos (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) representa del área total del espectro (360-740 nm) de la CAMR lavada con cloruro sódico a las que se les añadieron como crioprotectores sorbitol (3%) y tripolifosfato sódico (0,2%) después de la etapa de gelificación

#### 4.3.3.2. Caracterización química

En la tabla 60 se expresan los resultados obtenidos del análisis de la varianza del contenido en grasa, cenizas, humedad y proteínas de la carne de ave mecánicamente recuperada para el factor aditivo de lavado y crioprotector empleado, después de la gelificación. En esta tabla, se puede apreciar que los factores estudiados y su interacción resultaron significativos ( $P < 0,01$ ) para todas las variables consideradas.

**Tabla 60.** Resultado del análisis de la varianza (ANOVA) del contenido en grasa, humedad, cenizas y proteínas de la carne de ave mecánicamente recuperada para el factor aditivo de lavado y crioprotector

| Variables | FACTORES      | SUMA DE<br>CUA-<br>DRADOS | GRADOS<br>DE<br>LIBERTAD | CUA-<br>DRADO<br>MEDIO | F      | P      |
|-----------|---------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|--------|--------|
| Grasa     | Aditivo       | 64,927                    | 1                        | 64,927                 | 448,06 | 0,0000 |
|           | Crioprotector | 1,926                     | 2                        | 0,963                  | 6,65   | 0,0000 |
|           | Interacción   | 1,904                     | 2                        | 0,952                  | 6,57   | 0,0000 |
| Humedad   | Aditivo       | 80,521                    | 1                        | 80,521                 | 78,20  | 0,0000 |
|           | Crioprotector | 27,490                    | 2                        | 13,745                 | 13,35  | 0,0000 |
|           | Interacción   | 25,352                    | 2                        | 12,676                 | 12,31  | 0,0000 |
| Cenizas   | Aditivo       | 11,486                    | 1                        | 11,486                 | 566,32 | 0,0000 |
|           | Crioprotector | 0,751                     | 2                        | 0,376                  | 18,51  | 0,0000 |
|           | Interacción   | 1,459                     | 2                        | 0,730                  | 35,97  | 0,0000 |
| Proteínas | Aditivo       | 15,130                    | 1                        | 15,131                 | 75,05  | 0,0000 |
|           | Crioprotector | 26,146                    | 2                        | 13,073                 | 64,85  | 0,0000 |
|           | Interacción   | 13,926                    | 2                        | 6,963                  | 34,85  | 0,0000 |

Al resultar significativos los factores aditivo de lavado y crioprotector, se procedió a realizar el test de Tukey para conocer entre qué aditivos de lavado y crioprotectores se presentaban diferencias significativas, (tabla 61).

**Tabla 61.** Valores medios del test de Tukey del contenido en grasa, humedad, cenizas y proteínas de la carne de ave mecánicamente recuperada gelificada para los factores aditivo de lavado y crioprotector

|                      |          | HUMEDAD<br>(%) | GRASA<br>(%) | CENIZAS<br>(%) | PROTEÍ-<br>NAS (%) |
|----------------------|----------|----------------|--------------|----------------|--------------------|
| Aditivo de<br>Lavado | BS       | 75,76a         | 8,22b        | 1,22a          | 15,31b             |
|                      | NaCl     | 77,32b         | 6,03a        | 1,64b          | 14,25a             |
| Crioprotector        | Control  | 76,28a         | 7,20b        | 1,07a          | 14,55b             |
|                      | Sorbitol | 75,83a         | 7,30b        | 1,34b          | 15,72c             |
|                      | TPS      | 77,52b         | 6,86a        | 1,11a          | 14,07a             |

a-c: Letras diferentes, entre los niveles de un mismo factor, denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores medios; BS: Bicarbonato sódico; TPS: tri-polifosfato sódico (% expresados en kg/100kg de materia prima)

### Humedad

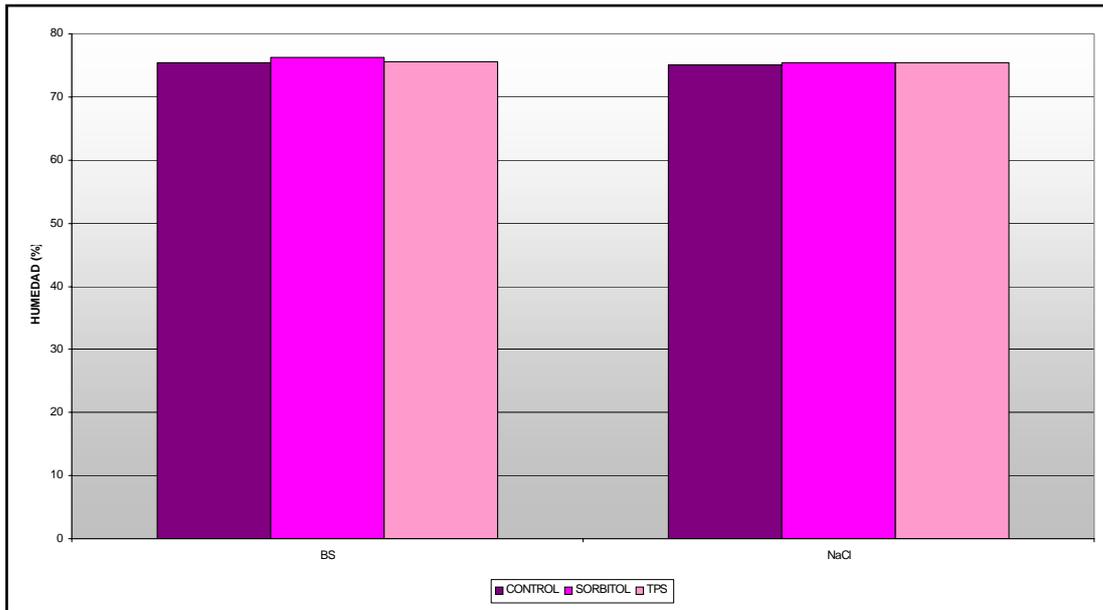
Al analizar el factor aditivo de lavado, el test de Tukey mostró que se presentaron diferencias significativas entre los dos niveles de dicho factor ( $P < 0,05$ ) (Tabla 61). Los mayores valores de humedad se presentaron para las muestras lavadas con NaCl. Este comportamiento podría relacionarse con la capacidad de retención de agua generada en la carne y productos cárnicos por la acción de dicho aditivo (Pearson y Tauber, 1984) y las posibles modificaciones que desde el punto de vista estructural posibilitaran una mayor retención de agua libre. Yang y Fronning (1992) señalaron un comportamiento similar de la humedad en geles elaborados a partir de subproductos de carne de pollo. El contenido en humedad del producto tras su gelificación varía en función del aditivo de lavado utilizado; comparando la humedad del producto tras su gelificación con la que presentaba tras su lavado con el correspondiente aditivo, en el caso de la utilización del BS el proceso de gelificación redujo el contenido de humedad,

mientras que cuando se utilizó NaCl como aditivo de lavado, el proceso de gelificación la incrementó.

Al analizar el factor crioprotector, el test de Tukey mostró que no se presentaron diferencias significativas entre las muestras control y las adicionadas con sorbitol, pero sí entre éstas y el TPS, siendo en este último caso donde se presentaron los mayores valores de humedad (Tabla 61). Estos resultados corroborarían lo comentado anteriormente sobre las modificaciones de la capacidad de retención de agua del producto por efecto de los aditivos utilizados.

En la figura 94 se representa la interacción aditivo de lavado (bicarbonato sódico y cloruro sódico) y crioprotector (sorbitol, TPS y muestra control) para el contenido en humedad de la CAMR gelificada.





**Figura 94.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS y NaCl) y crioprotector (sorbitol y TPS) para el contenido en humedad de la CAMR

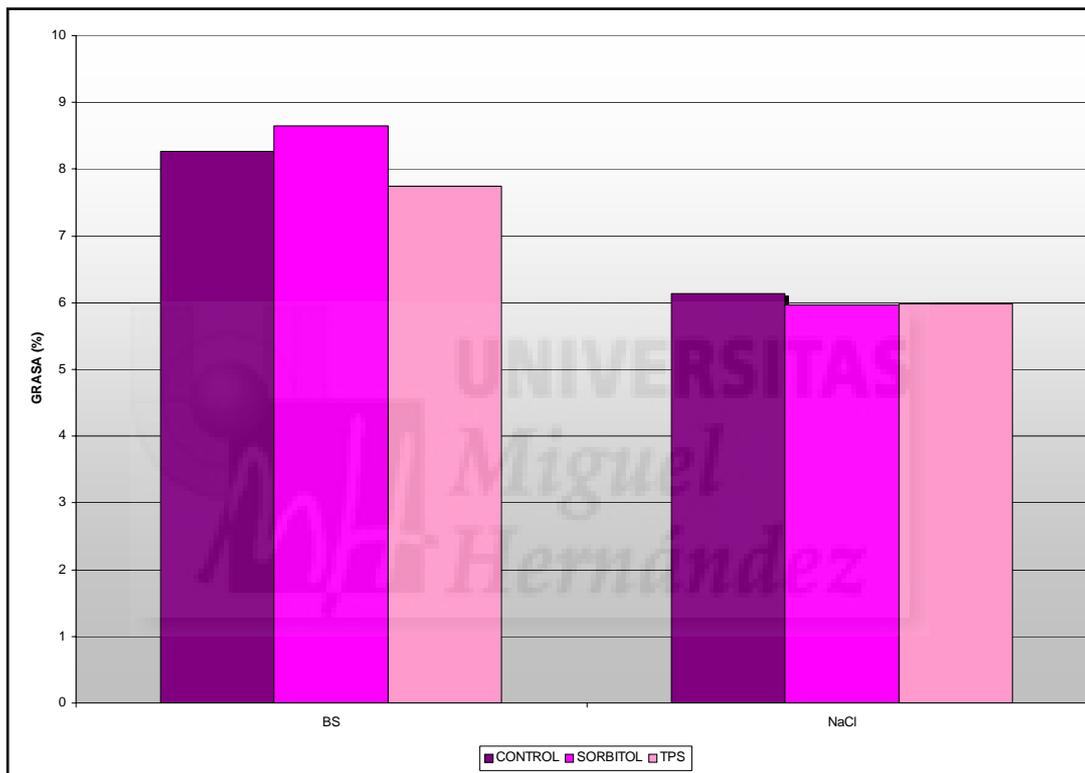
En la figura 94 se observa que no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los crioprotectores sorbitol y TPS en las muestras lavadas con NaCl, pero sí entre éstas y el resto. También se puede observar que el máximo contenido en humedad se presentó para las muestras lavadas con BS y gelificadas tras la incorporación de sorbitol.

### Grasa

Al analizar el factor aditivo de lavado, el test de Tukey señaló que se presentaron diferencias significativas entre los dos niveles de dicho factor ( $P < 0,05$ ) (Tabla 61). Se puede apreciar que el mayor valor del contenido en grasa se presentó para el bicarbonato sódico (BS), por encima del contenido en grasa de la carne lavada con cloruro sódico (NaCl).

Al analizar el factor crioprotector, se puede apreciar, en la tabla 61, que no se presentaron diferencias significativas entre el contenido en grasa de la CAMR control y la muestra tratada con sorbitol, pero sí entre estas y la muestra tratada con TPS.

En la figura 95 se representa la interacción aditivo de lavado (bicarbonato sódico y cloruro sódico) y crioprotector (sorbitol, TPS y muestra control) para el contenido en grasa de la CAMR gelificada.



**Figura 95.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS y NaCl) y crioprotector (sorbitol y TPS) para el contenido en grasa de la CAMR

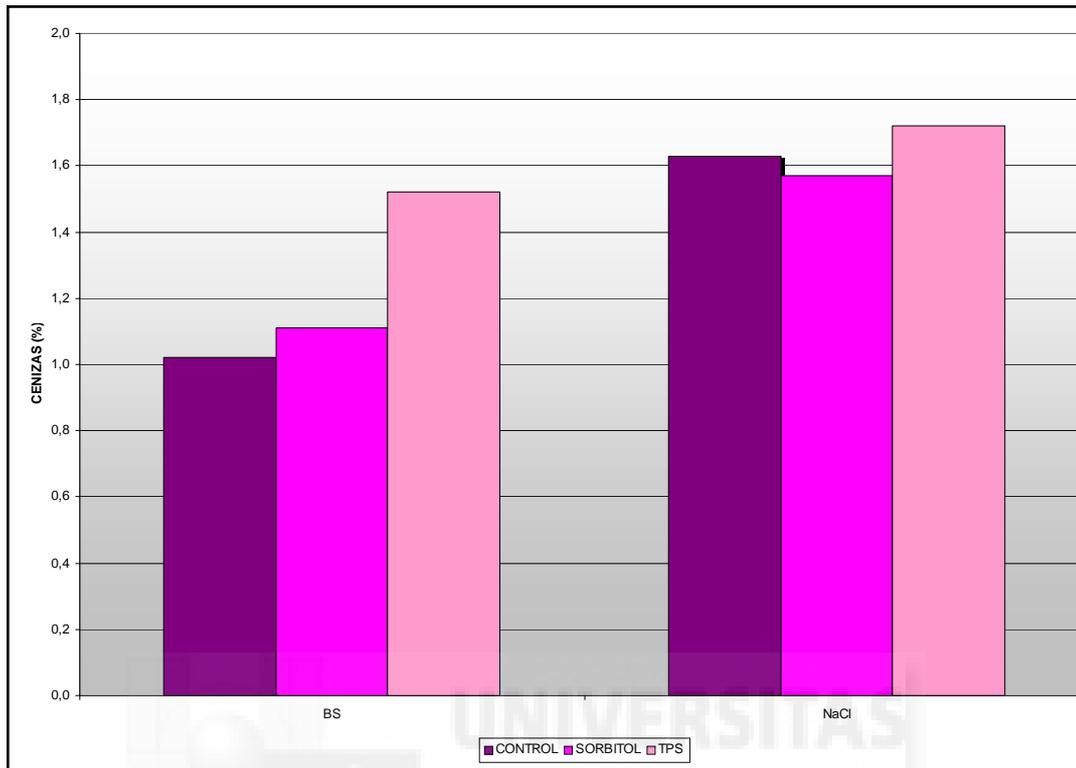
En dicha interacción no se presentaron diferencias significativas entre la muestra control y las gelificadas tras la incorporación de crioprotectores, en el caso de las lavadas con NaCl, pero sí entre éstas y el resto. Los más bajos contenidos de grasa se presentaron en las muestras lavadas con NaCl (Figura 95).

### Cenizas

Al analizar el factor aditivo de lavado, el test de Tukey mostró que se presentaron diferencias significativas entre el contenido en cenizas de la carne lavada con BS y la carne lavada con NaCl ( $P < 0,05$ ) (Tabla 61). Los menores valores se presentaron en las muestras lavadas con BS. Estos resultados coinciden con lo expresado en el trabajo de Devatkal y Mendiratta (2001) donde se menciona que el contenido en cenizas de carne reestructurada es superior en los productos en los que durante su procesado se utiliza NaCl que los que utilizan carbonatos u otras sales de ácidos orgánicas.

Al analizar el factor crioprotector, el test de Tukey mostró (tabla 61) que no se presentaron diferencias significativas entre la muestra control y la carne tratada con TPS, pero sí entre estas dos y la muestra tratada con sorbitol, obteniéndose en este último caso los mayores valores de cenizas.

En la figura 96 se representa la interacción aditivo de lavado (bicarbonato sódico y cloruro sódico) y crioprotector (sorbitol, TPS y muestra control) para el contenido en cenizas de la CAMR gelificada.



**Figura 96.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS y NaCl) y crioprotector (sorbitol y TPS) para el contenido en cenizas de la CAMR

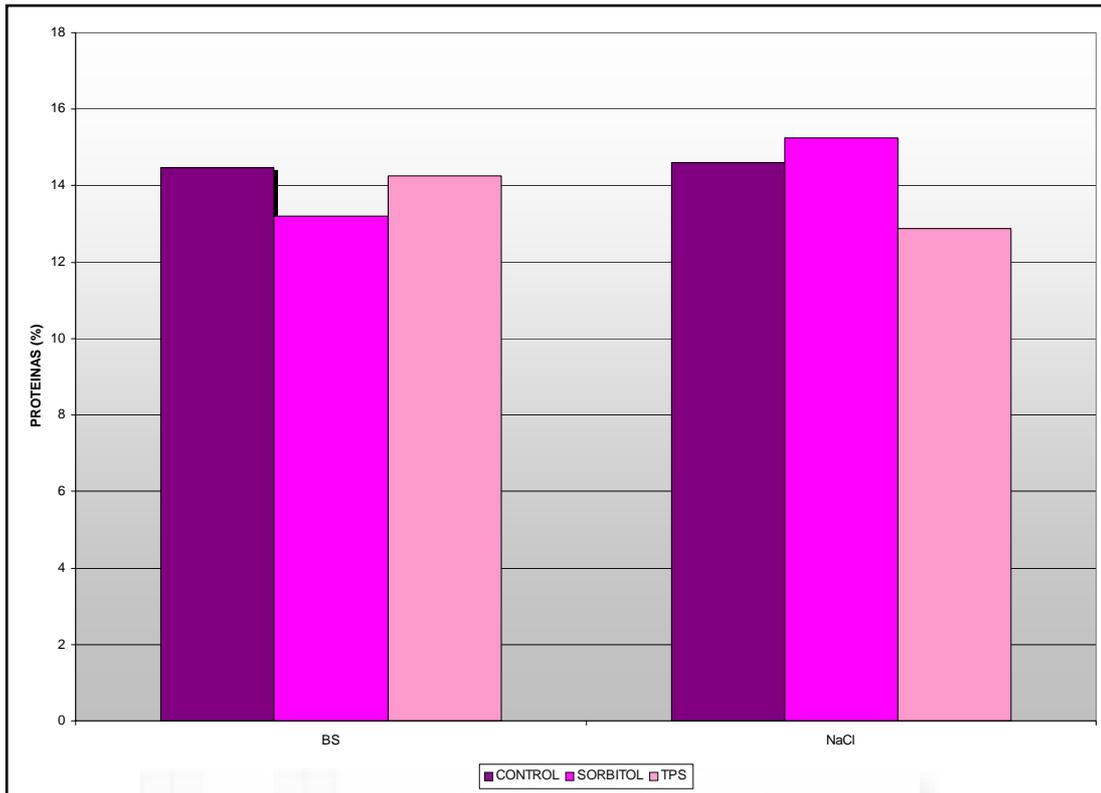
Al analizar la interacción aditivo de lavado y crioprotector se detectaron diferencias significativas entre todas las muestras, siendo dichas diferencias más evidentes entre los niveles de las muestras lavadas con BS. Los mayores valores de cenizas se presentaron para las muestras lavadas con NaCl, y en las que se usó TPS como crioprotector (Figura 96). En todos los casos, los niveles de cenizas obtenidos fueron inferiores a los expresados por Lin y Chen (1989) para productos tratados térmicamente a partir de carne mecánicamente recuperada.

## Proteínas

Al analizar el factor aditivo de lavado, el test de Tukey mostró que se presentaron diferencias significativas entre los dos niveles de dicho factor ( $P < 0,05$ ). Los mayores valores de proteínas se presentaron en las muestras lavadas con BS (Tabla 61).

Al analizar el factor crioprotector, el test de Tukey mostró (tabla 61), que se presentaron diferencias significativas entre todos los niveles de dicho factor, presentándose los mayores valores de proteínas en las muestras con sorbitol, y los menores en las muestras con TPS.

En la figura 97 se representa la interacción aditivo de lavado (bicarbonato sódico y cloruro sódico) y crioprotector (sorbitol, TPS y muestra control) para el contenido en proteínas de la CAMR gelificada.



**Figura 97.** Representación gráfica de la interacción aditivo de lavado (BS y NaCl) y crioprotector (sorbitol y TPS) para el contenido en proteínas de la CAMR

Al analizar la interacción aditivo de lavado y crioprotector, se presentaron diferencias significativas entre todas las muestras (Figura 97). Los mayores contenidos en proteínas se obtuvieron en las muestras lavadas con NaCl y adicionadas con sorbitol. El efecto de los crioprotectores sobre dicha variable depende del aditivo de lavado utilizado.

Las variaciones en la concentración de proteínas podrían deberse a la relación existente entre el pH y la fuerza iónica de las soluciones de lavado y el efecto de los crioprotectores sobre la hidratación proteica. Estos factores han sido discutidos por Yang y Froning (1992) en geles obtenidos a partir de subproductos de carne de pollo.

#### 4.3.3.3 Textura

En la tabla 62 se presentan los resultados de los ANOVA realizados para los parámetros texturales de los geles elaborados con carne de ave mecánicamente recuperada. Este análisis mostró la existencia de diferencias significativas ( $P < 0,01$ ) para todos los parámetros texturales estudiados teniendo en cuenta el factor aditivo, mientras que el factor crioprotector solo presentó diferencias significativas ( $P < 0,01$ ) para el trabajo de penetración a 15 mm y la fuerza media de penetración a 15 mm.



**Tabla 62.** Resultados de los ANOVA realizados para los parámetros texturales de los geles elaborados con carne de ave mecánicamente recuperada

| Variables         | FACTORES      | SUMA DE CUADRADOS | GRADOS DE LIBERTAD | CUADRA-DO MEDIO | F      | p      |
|-------------------|---------------|-------------------|--------------------|-----------------|--------|--------|
| FF                | Aditivo       | 241289,000        | 1                  | 241289,000      | 117,50 | 0,0000 |
|                   | Crioprotector | 11768,800         | 2                  | 5884,380        | 2,87   | 0,0636 |
|                   | Interacción   | 8001,460          | 2                  | 4000,730        | 1,95   | 0,1501 |
| DF                | Aditivo       | 8,060             | 1                  | 8,060           | 7,99   | 0,0061 |
|                   | Crioprotector | 2,837             | 2                  | 1,418           | 1,41   | 0,2517 |
|                   | Interacción   | 0,158             | 2                  | 0,079           | 0,08   | 0,9248 |
| TP15              | Aditivo       | 1,990 E7          | 1                  | 1,991           | 161,39 | 0,0000 |
|                   | Crioprotector | 2,055 E7          | 2                  | 1,028           | 8,33   | 0,0006 |
|                   | Interacción   | 1,577 E6          | 2                  | 788527,000      | 6,39   | 0,0028 |
| FMP15             | Aditivo       | 88485,100         | 1                  | 88485,100       | 161,39 | 0,0000 |
|                   | Crioprotector | 9136,890          | 2                  | 4568,440        | 8,33   | 0,0006 |
|                   | Interacción   | 7009,090          | 2                  | 3504,550        | 6,39   | 0,0028 |
| FG                | Aditivo       | 75074,900         | 1                  | 75074,900       | 77,05  | 0,0000 |
|                   | Crioprotector | 3040,180          | 2                  | 1520,090        | 1,56   | 0,2172 |
|                   | Interacción   | 1409,150          | 2                  | 704,577         | 0,72   | 0,4888 |
| Prueba de plegado | Aditivo       | 2,558             | 1                  | 2,558           | 16,34  | 0,0001 |
|                   | Crioprotector | 0,161             | 2                  | 0,081           | 0,52   | 0,0599 |
|                   | Interacción   | 14,473            | 2                  | 7,236           | 46,22  | 0,0000 |

FF: Fuerza de fractura; DF: Distancia de fractura; FG: Fuerza de gel; TP15: trabajo de penetración a 15 mm; FMP15: Fuerza media de penetración a 15 mm

Los valores obtenidos para las propiedades texturales de los geles elaborados, para los factores aditivo de lavado y crioprotector se recoge en la tabla 63. Los valores obtenidos para la carne lavada con NaCl, independientemente del crioprotector empleado, son superiores ( $P < 0,05$ ), para todos los parámetros texturales, excepto para la prueba de plegado, que fue inferior.

**Tabla 63.** Valores medios del Test de Tukey de los parámetros texturales de los geles elaborados con carne de ave mecánicamente recuperada para los factores aditivo de lavado y crioprotector

|                      |          | FF<br>(g) | DF<br>(mm) | FG<br>(g*cm) | TP15<br>(g*mm) | FMP15<br>(g) | PRUEBA<br>DE<br>PLEGA-<br>DO |
|----------------------|----------|-----------|------------|--------------|----------------|--------------|------------------------------|
| Aditivo de<br>Lavado | BS       | 123,85a   | 4,17a      | 52,92a       | 1464,96 a      | 97,66a       | 3,29b                        |
|                      | NaCl     | 242,79b   | 4,77b      | 117,93b      | 2576,70b       | 171,78b      | 3,03a                        |
| Criopro-<br>tector   | Control  | 209,72    | 4,47       | 98,09        | 2311,82c       | 154,13c      | 3,70c                        |
|                      | Sorbitol | 177,10    | 4,23       | 78,82        | 2019,82 b      | 134,65b      | 3,31b                        |
|                      | TPS      | 156,808   | 4,62       | 75,36        | 1683,47 a      | 112,23a      | 3,00b                        |

a-c: Letras diferentes, entre los niveles de un mismo factor, denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores medios

BS: bicarbonato sódico; NaCl: Cloruro sódico; TPS: tripolifosfato sódico; FF: Fuerza de fractura; DF: Distancia de fractura; FG: Fuerza de gel; TP15: trabajo de penetración a 15 mm; FMP15: Fuerza media de penetración a 15 mm

La gelificación térmica (90°C/15min) de las proteínas miofibrilares, utilizado en este estudio (apartado 3.2.1.3.), es reconocida como la más adecuada para la obtención geles de buena calidad, proporcionando a éstos estabilidad y unas adecuadas propiedades funcional y texturales (Yang y Froning, 1992; Smyth y O'Niel, 1997; Antonomanolaki *et al.*, 1999; Nowsad *et al.*, 2000a, Nowsad *et al.*, 2000b). Estas propiedades dependen de factores como las condiciones térmicas, cantidad y tipo de proteínas extraíbles, solubilidad proteica, grasa, humedad, pH, fuerza iónica, contenido en sal y fosfatos y están influenciados por ingredientes gelificantes y no gelificantes, tales como grasa, agua, azúcar, almidón, gomas y proteínas no musculares (Lanier, 1986; Lee y Chung, 1989).

Los geles obtenidos con carne lavada con NaCl, presentaron un mayor contenido en agua y cenizas, y un menor contenido graso y proteico (tabla 61), por lo que estos componentes deben estar influyendo en las características del gel. Según Lanier (1985), Ching (1994) y Montero (1994), la gelificación de las proteínas de la carne conlleva la polimerización de las proteínas miofibrilares con la formación de una matriz de gel tridimensional en la cual quedan retenidos componentes líquidos y sólidos. La textura y la estabilidad de estos productos están directamente relacionadas con la formación de esta matriz. Las características del gel son función del tipo, cantidad y calidad de la proteína presente, de ahí la variabilidad que experimenta la textura instrumental con los cambios en los componentes de la materia prima (Mella *et al.*, 2000).

La relación grasa/proteínas parece estar relacionada con la textura de las muestras (Ordóñez *et al.*, 1996). Según los estudios de Pérez Dubé *et al.*, (2000), los homogeneizados de carne mecánicamente recuperada con mayor contenido graso presentaban valores de dureza menores que aquellos con menor contenido graso.

En geles elaborados con carne de pollo (Youling y Blanchard, 1993), la fuerza del gel (FG) descendió con el uso de determinados hidrocoloides (alginato y goma santana), debido a que estos polisacáridos interfieren en la estructura del gel proteico. Los diferentes efectos de diversos hidrocoloides sobre las propiedades gelificantes en geles de pescado (pescadilla), se debe al tipo de interacción (electrostática, iónica) entre los hidrocoloides y las proteínas miofibrilares y su capacidad para solubilizarse o dispersarse en la matriz proteica (Pérez-Mateo y Montero, 2000).

Por otra parte, en geles de pescado (*T.chalcogramna*), la fuerza del gel descendió con el aumento de la capacidad de retención

de agua (Niwa *et al.*, 1992). Reppond y Babbit (1997) en *surimi* de distintas especies de pescado encontraron que la fuerza de penetración aumenta linealmente con el descenso de la humedad. Los resultados de este estudio no se encuentran en concordancia con la relación inversa anterior, ya que los geles elaborados con carne lavada con NaCl, que presentaron mayor contenido en agua (Tabla 61), obtuvieron mayores valores para la fuerza del gel (Tabla 63).

En el presente estudio, los valores correspondientes a la prueba de plegado, indicador de la elasticidad del gel (Nowsad *et al.*, 2000a), dan como más elásticos a los procedentes de la carne lavada con bicarbonato sódico. Estos resultados concuerdan con los observados en otros estudios donde se demostraba una relación entre el menor contenido en humedad de las muestras y, por tanto, mayor contenido en proteínas, y una mayor deformación. Una mayor elasticidad no tiene porqué estar asociado con geles más deformables (Pérez-Mateo y Montero, 2000).

La prueba de plegado se usa normalmente en la industria, como medida rápida y simple de la fuerza y elasticidad del gel (Kim y Park, 2000). Anatonomanolaki *et al.* (1999) en sus estudios sobre la gelificación térmica con carne de oveja, demostraron que los componentes solubles presentes en el agua de lavado, afectan a la capacidad de gelificación de las proteínas miofibrilares, dando lugar a geles de peor calidad cuando la carne no es previamente lavada, obteniendo por tanto para estos geles valores inferiores.

La adición de sal en la etapa de gelificación es esencial en cuanto a la solubilización de las proteínas miofibrilares para la producción de buenos geles, en músculo de carne de oveja, res, cerdo y pescado (Park *et al.*, 1996b, Anatonomanolaki *et al.*, 1999; Hennigar *et al.*, 1989). Las propiedades mecánicas de geles de pescado au-

mentan con la adición de sal (2-3%), dando lugar a geles más duros que los geles sin sal (Park *et al.*, 1996b, Uresti *et al.*, 2004). El descenso en los niveles de sal para productos bajos en sal, presenta un efecto negativo sobre las propiedades mecánicas (Uresti *et al.*, 2004).

Respecto a la influencia del crioprotector sobre las propiedades texturales de los geles elaborados, existieron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) para TP15, FMP15 y prueba de plegado y no para el resto de parámetros texturales ( $P > 0,05$ ). Los valores de TP15, FMP15 y prueba de plegado fueron superiores en los geles sin adición de crioprotectores ( $P < 0,05$ ) e inferiores en aquellos en donde se utilizó tripolifosfato (Tabla 63). Según Park *et al.* (1996b) la dureza de geles no se vio afectada por distintos crioprotectores (sorbitol, glicerol y sacarosa), ya que estos no influyen en la formación del gel, ni las proteínas de cerdo y vacuno se ven afectadas por la congelación.





**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES**



## V. CONCLUSIONES

1. La carne de ave mecánicamente recuperada es una importante fuente de proteínas que posibilitaría, tras ser sometida a determinados procesos, su utilización como ingrediente en gran variedad de productos cárnicos.

2. La carne de ave mecánicamente recuperada presenta un alto contenido en grasa y hemopigmentos lo cual dificulta su aplicación directa como ingrediente en la elaboración de productos cárnicos, de ahí la necesidad de fijar unas condiciones de procesado que eliminen dicho inconveniente.

3. Desde el punto de vista espectral, la carne de ave mecánicamente recuperada presenta un mayor número de puntos isobélicos que la carne de ave deshuesada manualmente.

4. El proceso de lavado de la carne de ave mecánicamente recuperada se manifiesta como la principal etapa para la reducción de su contenido en grasa y en hemopigmentos. De todos los parámetros utilizados, la coordenada de color rojo-verde ( $a^*$ ) es la herramienta más útil para el seguimiento de dicho proceso.

5. A lo largo de los 90 minutos de lavado ensayados, la mayor eliminación de proteínas solubles en agua (hemopigmentos) y grasa de la carne de ave mecánicamente recuperada se alcanza durante los primeros 10 minutos de lavado.

6. Del ciclo de 6 lavados consecutivos ensayados, se selecciona hasta un máximo de 3 lavados como adecuado para la eliminación

de la mayor proporción de proteínas en las aguas de lavado de la carne de ave mecánicamente recuperada.

7. La utilización de cloruro sódico como aditivo de lavado, a concentraciones iguales o superiores al 1%, favorece la reducción de la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) y del índice de rojez ( $a^*/b^*$ ) de la carne de ave mecánicamente recuperada.

8. La utilización de ácido láctico como aditivo de lavado, a concentraciones del 0,25%, incrementa los valores de luminosidad ( $L^*$ ) y reduce los valores de la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) de la carne de ave mecánicamente recuperada.

9. La utilización de bicarbonato sódico como aditivo de lavado, a concentraciones iguales o superiores al 0,25%, favorece la reducción de la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) y del índice de rojez ( $a^*/b^*$ ) de la carne de ave mecánicamente recuperada.

10. La utilización de lactato sódico como aditivo de lavado provoca un oscurecimiento de la carne de ave mecánicamente recuperada y no favorece la reducción de la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ), descartándose por tanto su utilización como aditivo de lavado.

11. La utilización de tripolifosfato sódico como aditivo de lavado, a concentraciones iguales o superiores al 0,005% reduce los valores de la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) de la carne de ave mecánicamente recuperada.

12. La mayor reducción de la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) de la carne de ave mecánicamente recuperada durante el proceso de lavado se consigue con la utilización de ácido láctico como aditivo

de lavado, seguido del cloruro sódico y bicarbonato sódico, siendo el tripolifosfato sódico el aditivo con el que menor reducción se obtiene.

13. De todas las combinaciones ensayadas del proceso de lavado (aditivo de lavado y número de lavados), la que mayor luminosidad ( $L^*$ ) y menor valor de la coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) e índice de rojez ( $a^*/b^*$ ) consigue para la carne de ave mecánicamente recuperada es la utilización de 3 lavados usando cloruro sódico al 1%.

14. El uso de sorbitol y tripolifosfato sódico como crioprotectores, durante el proceso de congelación de la carne de ave mecánicamente recuperada lavada, disminuye la componente roja del color y reduce los valores del índice de rojez.

15. Tras el tratamiento térmico de las muestras se descarta la utilización del ácido láctico como aditivo de lavado por no llevarse a cabo el proceso de gelificación.

16. La utilización de sorbitol y tripolifosfato sódico como crioprotectores no modifica las propiedades texturales de los geles obtenidos a partir de la carne de ave mecánicamente recuperada.

17. El proceso de obtención de geles cárnicos a partir de carne de ave mecánicamente recuperada es una alternativa tecnológicamente viable para su utilización como producto o como nuevo ingrediente en la industria cárnica.





**CAPÍTULO VI**  
**BIBLIOGRAFÍA**



## VI. BIBLIOGRAFÍA

- AFFIFI, A. y AZEN, S.P. (1976). Statistical analysis. A computer oriented approach. 2ª ed. Academic Press Inc. London.
- AGUILAR, M. y BLANCA, V. (1985). Iluminación y color. Servicio de publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.
- ALBERT, F. J. (1997). Aportación al proceso de embutidos crudo-curados: efecto del grado de picado y de diversos aditivos sobre la grasa. Trabajo Fin de carrera. E. P. S. de Orihuela. Universidad Miguel Hernández.
- ALESÓN, L. (2002). Aplicación de fibra de origen cítrico en la elaboración de productos cárnicos crudo curados. Trabajo Fin de Carrera. E. P. S. de Orihuela. Universidad Miguel Hernández.
- AL-NAJDAWI , R.Y ABDULLAH, B.( 2002). Proximate composition, selected minerals, colesterol content and lipid oxidation of mechanically and hand deboned chickens from the Jordanian market. *Meat Science*, 61: 243-247.
- ANÓNIMO. (2002a). Elaborados cocidos de aves: el pavo se desarrolla. *Alimarket*, 157: 173-180.
- ANÓNIMO. (2002b). Carne de pollo: la certificación busca valor añadido. *Alimarket*, 153: 86-95.
- ANTONOMANOLAKI, R.E.; VARELTZIS, K.P.; GEORGAKIS, S.A. y KALDRYMIDOU, E. (1999). Thermal gelation properties of surimi-like material made from sheep meat. *Meat Science*, 52: 429-435.
- AOAC (2000). Nitrogen in meat. AOAC Official Methods of Analysis, 39.1.15.
- ARAKAWA, T. y TIMASHEFF, S.N. (1982) Stabilization of protein structure by sugars. *Biochemistry* 21: 6536-6544.

- AUH, J.H.; LEE,H.G.; KIM, J.W; KIM, J.C.; YOON, H. S. y PARK,K.H. (1999). Highly concentrated branched oligosaccharides as cryoprotectant for surimi. *Journal of Food Science*, 64(3): 418-422.
- AZEREDO, H.M.C.; ASSIS-FARIA, J.; SILVA, M.A.A.P. (2004). Minimization of peroxide formation rate in soybean oil by antioxidants combinations. *Food Research International*, 37(7): 689-694.
- BABJI, A. S.; FRONING, G.W.; y SATTERLEE, L.D. (1980). The protein nutritional quality of mechanically deboned poultry meat as predicted by C-PER assay. *Journal of Food Science*, 45: 441-443.
- BADII, F.; HOWELL, N.K. (2002). Changes in the texture and structure of cod and haddock fillets during frozen storage. *Food Hydrocolloids*, 16(4): 313-319.
- BADUÍ, S. (1981). *Química de los alimentos*. Ed. Alhambra Mexicana. México.
- BARBUT, S.; DRAPER, H. H.; COLE, P. D. (1989). Effect of mechanically deboned head pressure on lipid oxidation in poultry meat. *Journal of Food Protection*, 52: 21-25.
- BARCELÓ, N. (1998). Efecto del secado sobre diversas materias primas cárnicas. Trabajo Fin de carrera. E. P. S. de Orihuela. Universidad Miguel Hernández.
- BARRERO, M.; BELLO, R. (2000). Characterization of sardine minced flesh (*Sardinella aurita*) washed with different solutions. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 9(3): 105-114.
- BAUBLITS, R.T.; POHLMAN, F.W.; BROWN, A.H. y JHONSON, Z.B. (2005). Effects of sodium chloride, phosphate type and concentration, and pump rate on beef *Biceps femoris* quality and sensory characteristics. *Meat Science*, (70) ,2: 205-214.
- BERIAIN, M.; SÁNCHEZ-MONGE, J.; VILLANUEVA, R. y BELLO, J. (1989) Estudio microscópico de las emulsiones cárnicas en relación con la presencia de aditivos químicos. *Anales Bromatología*, 41, 349-357.

- BERNTHAL, P.; BOOREN, A.; GRAY, J. (1989). Effect of sodium chloride concentration on pH, water-holding capacity and extractable protein of prerigor and postrigor ground beef. *Meat Science*, 25:143-154.
- BERRIOS, J.; WOOD, D.; WHITEHAND L.; PAN, J. (2004). Sodium bicarbonate and the microstructure, expansion and color of extruded black beans. *Journal of Food Processing and Preservation*, 28(5): 321-335.
- BHAGAVAN, F.W. (1978). *Bioquímica*. Interamericana. México.
- BONIFER, L.J.; FRONING, G.W.; MANDINGO, R.W.; CUPPETT, S.L. y MEAGHER, M.M. (1996). Textural, color and sensory properties of bologna containing various levels of washed chicken skin. *Poultry Science*, 75 (8): 1047-1055.
- BOURNE, M.C. (2002). *Food texture and viscosity: concept and measurement*. 2 ed. Academic Press Inc.
- BOWIE, B.M.; DICK, R.L. y ACTON, J.C. (1989). Composition and color alteration of small strips of chicken dark meat. *Journal of Muscle Foods*, 1(1): 23-35.
- CAMPO, A. D. (1991). Caracterización física y físico-química del jamón curado: Influencia sobre el color en la etapa de maduración. En: *Anales de Investigación del Master en Ciencia e Ingeniería de Alimentos*. Fito, P.; Serra, J.; Hernández, E.; Vidal, D. (Eds) Consejo Social de la Universidad Politécnica de Valencia. 2: 499-516.
- CAPITA, R.; ALONSO-CALLEJA, C.; SIERRA, M.; MORENO, B.; GARCIA-FERNANDEZ, M DEL C. (2000). Effect of trisodium phosphate solutions washing on the sensory evaluation of poultry meat. *Meat Science*, 55(4): 471-474.
- CARTAGENA, R. (1997). Caracterización física y físico-química de productos cárnicos elaborados en la comarca del medio Vinalopó. (Elda-Petrer). Trabajo Fin de carrera. E. P. S. de Orihuela. Universidad Miguel Hernández.

- CARVAJAL, P.A. y LANIER, T.C. (1996). Cryoprotection of intact meats by carbohydrate infusion. United States of America, Institute of Food Technologists Annual Meeting: book of abstracts, 33-34 ISSN 1082-1236.
- CASSENS, R.G.; DEMEYER, D.; EIDELNBOOM, G.; HONIKEL, K.O.; JOHANSSON, G.; NIELSEN, T.; RENERRE, M.; RICHARDSON, Y. y SAKATA, R. (1995). Recommendation of reference method for assessment of meat color. Proceedings of 41th International Congress of Meat Science and Technology. San Antonio (Texas), C86, 410-411.
- CERVERA-PÉREZ, R. (1995). Estudio de la evolución del color en el proceso de elaboración del paté. Trabajo Fin de Carrera. E.U.I.T.A. Universidad Politécnica de Valencia.
- CHEFTEL, J.C.; CHEFTEL, H.; BESANÇON, P. (1983). Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Vol. II: Zaragoza. Acribia.
- CHING, H. L. (1994). Fish process for surimi production In Proceedings of Surimi and Minced Fish Products from Underutilised and Pelagic Fish. Athens, Greece, 1-4 November.
- COLL, N. (1997). Influencia de diversos aditivos (cloruro de sodio, ácido láctico, tripolifosfato de sodio) sobre el color del magro en sistemas modelo de embutidos. Trabajo Fin de carrera. E. P. S. de Orihuela. Universidad Miguel Hernández.
- CORTES-RUIZ, J.A.; PACHECO-AGUILAR, R.; GARCÍA-SÁNCHEZ, G.; LUGO-SÁNCHEZ, M.E. (2001). Functional characterization of a protein concentrate from bristly sardine made under acidic conditions. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 10(4):5-23.
- CURTIS, F.G. (1990). *Applied Numerical Analysis*. London, Addison-Wesley.
- DAWSON, P.L.; SHELDON, B.W. y BALL, J.R. (1988). Extraction of lipid and pigment component from mechanically deboned chicken meat. *Journal of Food Science*, 53(6): 1615-1617.

- DEVATKAL, S.; MENDIRATTA, S.K. (2001). Use of calcium lactate with Salt phosphate and alginate calcium gels in restructured pork rolls. *Meat Science*, 58 (4): 371-379.
- DIMICK, P. S.; MACNEIL, J. H.; GRUNDEN, L. P. (1972). Poultry product quality. Carbonyl composition and organoleptic evaluation of mechanically deboned poultry meat. *Journal of Food Science*, 37: 544-546.
- ELKHALIFA, E.A.; GRAHAM, P.P.; MARRIOT, N.G. y PHELPS, S.K. (1988). Color characteristics and functional properties of flaked turkey dark meat as influenced by washing treatments. *Journal of Food Science*, 53 (4): 1068-1071.
- ENSOY, U.; KOLSARICI, N.; CANDOGAN, K. (2004). Quality characteristics of spent layer surimi during frozen storage. *European Food Research and Technology*, 219(1): 14-19.
- ESSARY, E.O. (1979). Moisture, fat protein and mineral content of mechanically deboned poultry meat. *Journal of Food Science*, 44: 1070-1073.
- FAO (2005). Estadísticas sobre producción y consumo de carne. En <http://www.fao.org/>
- FAO/WHO (2000). Code of practice for frozen surimi. Food standards Program: Codex Alimentarius Commission En: Surimi and surimi seafood. Ed. J. W. Park. Marcel Dekkers ediciones. Estados Unidos de América.
- FERNÁNDEZ-GINÉS, J. M. (1998). Caracterización física y físico-química de la mortadela. Trabajo Fin de Carrera. E. P. S. de Orihuela. Universidad Miguel Hernández.
- FERNÁNDEZ-GINÉS, J. M. (2005). Aplicación del subproducto de la industria cítrica en la elaboración de pastas finas ricas en fibra. Tesis Doctoral. Universidad Miguel Hernández de Elche.
- FERNÁNDEZ-GINÉS, J.M.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; SAYAS-BARBERÁ, M.E.; SENDRA, E.; J.A. PÉREZ-ÁLVAREZ. (2004). Lemon albedo as a new

- source of dietary fibre: application to bologna sausages. *Meat Science*, 67: 7-13.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ. J. (1998). Estudio del color por métodos objetivos en sistemas modelo de pastas de embutidos crudo-curados. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; FERNÁNDEZ-GINÉS J.M.; ALESON-CARBONELL, L.; SENDRA, E.; SAYAS-BARBERÁ M.E.; PÉREZ-ALVAREZ, J.A. (2004a). Application of functional citrus by-products to meat products. *Trends in Food Science and Technology*, 15: 176-185.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ. J.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; ARANDA-CATALÁ, V. (2000a). Effect of mincing degree on colour properties in pork meat. *Color Research and Application*, 25, 5: 376-380.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; SAYAS-BARBERÁ, E. y ARANDA, V. (2000b). Characterization of different states of myoglobin in pork using color parameters and reflectance ratios. *Journal of Muscle Foods*, 11: 157-167.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; SAYAS-BARBERÁ, E.; LÓPEZ-SANTOVEÑA, F. (2002). Effect of paprika (*Capsicum annum*) on colour of Spanish-type sausages during the resting stage. *Journal of Food Science*, 67(6): 2410-2414.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; SAYAS-BARBERÁ M.E.; PÉREZ-ALVAREZ, J.A.; ARANDA-CATALÁ, V. (2004b). Variation in myoglobin state and color of pork meat as influenced by pH, sodium chloride and sodium tripolyphosphate. *Color Research and Application*, 29: 67-74.
- FIELD, R.A. (1999). Bone marrow measurement for mechanically deboned recovered products from machines that press bones. *Meat Science*, 51: 205-214.
- FIELD, R.A. (2000). Ash and calcium as measures of bone in meat and bone mixtures. *Meat Science*, 55(3): 255-264.
- FLETCHER, D.L. (1999). Broiler breast meat color variation, pH, and texture. *Poultry Science*, 78(9): 1323-1327.

- FLETCHER, D.L. (2002). Calidad de la carne de ave. *World's Poultry Science Journal*, 58: 131-146.
- FONTES, P.R.; GOMIDE, L.A.M.; RAMOS, E.M.; STRINGHETA, P.C.; PARIERAS, J.F.M. (2004). Color evaluation of carbon monoxide treated porcine blood. *Meat Science*, 68(4): 507-513.
- FRONING, G. W. (1980). Mechanically deboning of poultry and fish. *Advances in Food Research*, 27: 109-147.
- FRONING, G. W. (1995). Color of poultry meat. *Poultry and avian biology reviews*, 6(2): 83-93.
- GAGO-GAGO, M. A.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J. A.; SAYAS, M. E.; ARANDACATALÁ, V. (1992). Estudio de parámetros físicos y químicos durante el proceso de curado del "salchichón". En: *Anales del Master en Ciencia e Ingeniería de Alimentos*, Fito, P.; Serra, J.; Hernández, E.; Vidal, D. (Eds) Consejo Social de la Universidad Politécnica de Valencia. 2: 499-516.
- GAGO-GAGO, M.A. 1999. Influencia del pH en el proceso de elaboración del jamón curado. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- GARCÍA-MARCOS, M.; ROSMINI, M.R.; PÉREZ-ALVAREZ, J.A.; GAGO, M.A.; LOPEZ-SANTOVEÑA, F. y ARANDA, V. (1996) Curing agents effects in a dry-cured sausage model system during the mixing-resting stage. En Hildrum, K.L. *Meat for the consumer. Proceedings of 42nd International Congress of Meat Science and Technology*. Lillehammer (Norway), MATFORSK, Norwegian Food Research Institute, L-11, p. 481-482.
- GILL, C.O. (1996). Extending the storage life of raw chilled meats. *Meat Science*, 43: 99-109.
- GIRARD, J.P (1991). La deshidratación. En Girard, J.P (Ed). *Tecnología de la carne y de los productos cárnicos*. Zaragoza, Acribia. Cap. III, p. 89-123.
- GÓMEZ-PASTRANA, J.M. (2002). Freezing of fish and factors which affect quality. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 21(174): 71-73.

- GREASER, M.L. Y PEARSON, A.M. (2001). Alimentos de carne y sus análogos. En: Textura de los alimentos. Medida y percepción. Ed. Acribia. Zaragoza.
- GRUNDEN, L.P. y MACNEIL, J.H. (1973). Examination of bone content in mechanically deboned poultry meat by EDTA and atomic absorption spectrophotometric methods. *Journal of Food Science*, 38: 712-713.
- GRUNDEN, L.P.; MACNEIL, J.H. y DIMICK, P.S. (1972). Poultry product quality: chemical and physical characteristics of mechanically deboned poultry meat. *Journal of Food Science*, 37: 247-249.
- HALL, G.M. Y AHMAD, N.H. (1992) Surimi and fish mince products. In *Fish Processing Technology* . George M. Hall (Eds). Blackie Academic & Professional. Published in North America By VCH Publishers, Inc. New York.
- HAM, D. y YOUNG, LL. (1983). Further studies on the composition of commercially prepared mechanically deboned poultry meat. *Poultry Science*, 62: 1810-1815.
- HAMM, R. (1960). Biochemistry of meat hydration. En Chichester, C.O.; Mark, E.M. y Stewart, G.F. (Eds). *Advances in Food Research*. New York, Academic Press, p. 355-463.
- HAMM, R. (1994). The influence of pH on the protein net charge in the myofibrillar system. *Reciprocal Meat Conference Proceedings*, 47: 5-9.
- HATHCOX, A.K.; HWANG, C.A.; RESURRECCION, A.V.A.; BEUCHAT, L.R. (1995). Consumer evaluation of raw and fried chicken after washing in trisodium phosphate or lactic acid/sodium benzoate solutions. *Journal of Food Science*, 60(3): 604-610.
- HENNIGAR, C.J.; BUCK, E.M.; HULTIN, H.O; PELEG, M.; VARELTIZIS, K. (1989). Mechanical properties of fish and beef gels prepared with and with out washing and sodium chloride. *Journal of Food Quality*, 12, 155-166.

- HERRERA, J.R.; MACKIE, I.M. (2004). Cryoprotection of frozen-stored actomyosin of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by some sugars and polyols. *Food Chemistry*, 84(1): 91-97.
- HILL, R.M. y HITES, B.D. (1968). Meat and meat products. Determination of small bone particles in meat. *Journal of the Association of Official Analysis Chemistry*, 51, 1175-1177.
- HOKE, M. E.; JAHNCKE, M. L.; SILVA, J. L.; HEARNSBERGER, J. O.; CHAMUL, R. S. y SURIYAPHAN, O. (2000). Stability of washed frozen mince from channel catfish frames. *Journal of Food Science*, 65(6): 1083-1086.
- HUNT, M. C.; ACTON, J. C.; BENEDICT, R. C.; CALKINS, C. R.; COMFORT, D. P.; JEREMIAH, L. E.; OLSON, D. P.; SALM, C. P.; SAVELL, J. N.; SHIVAS, S. D. (1991). American Meat Science Association. Guidelines for meat colour evaluation. Chicago. National. Live Stock and Meat Board.
- HUNT, M.C. y KROPP, D. (1985) Fresh and cured meat color analyses. Muscle Food Symposium, Institute of Food Technologist Annual Meeting, paper n0 151. Manhattan (Kansas), Kansas State University.
- ILLESCAS, E.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; PAGÁN MORENO, M.J. y ARANDA, V. (1993). Estudio de l efecto de la oscuridad sobre muestras de jamón curado loncheado expuestas a diferentes intensidad de luz y temperaturas. En: *Anales de Investigación del Master en Ciencia e Ingeniería de Alimentos*. Fito, P.; Serra, J.; Hernández, E.; Vidal, D. (Eds), Consejo Social de la Universidad Politécnica de Valencia. III: 563-578.
- INSTITUTO NACIONAL DE RACIONALIZACIÓN (1981). Nomenclatura cromática española. Madrid: IRN.
- ISO (1973) Meat and meat products. Determination of total fat content. R 1443 International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.

- ISO (1975) Meat and meat products. Determination of moisture content. R 1442 International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
- ISO (1985) Meat and meat products. Determination of ash content. R 936 International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
- JIMENEZ-VILLARREAL, R.; POHLMAN, F. W. ; JOHNSON Z. B. y BROWN, JR. A. H. (2003). Lipid, instrumental color and sensory characteristics of ground beef produced using trisodium phosphate, cetylpyridinium chloride, chlorine dioxide or lactic acid as multiple antimicrobial interventions. *Meat Science*, 65 (2): 885-891.
- JOHANSSON, G.; TORNBERG, E.; LUNDSTRÖM, K. (1991). Meat colour in loin and ham muscles of normal meat quality from Hampshire, Swedish Landrace and Yorkshire pigs. En: Proceedings of 33rd International Congress of Meat Science and Technology. Kulmbach (Germany).
- JOHNSTON, W. A. (1989). Surimi an introduction. *European Food & Drink Review*, 21, 23-24.
- JUDGE, M.; ABERLE, E.; FORREST, J. HEDRICH, H. y MERKEL, R. (1989). Principles of meat science. Dubuque, Kendall/Hunt Publishing Co. 135-178.
- KANNER, J. (1994). Oxidative processes in meat products: Quality implications. *Meat Science*, 36: 169-189.
- KATSARAS, K.; PEETZ, P. y GEYER, S. (1991). The surface structure and ultrastructure of meat products: electron microscopy in the service of meat research. *Fleischerei*, 42: 264, 267-269.
- KAUFFMAN, R. G.; WARNER, R. D.; RUSSEL, R. L. (1991). Variation in lightness and exudation among ten porcine muscles. En Proceedings of the 37th International Congress of Meat Science and Technology. 1-6, Septiembre.
- KEE, G.S. y BABJI, A.S. (1991). Effect of processing on yield and composition of spent hen surimi (*ayami*). *Food Australia*, 43(11): 494-495.

- KIM, B. Y.; PARK, J. W. (2000). Rheology and texture properties of surimi gels en Surimi and surimi sea food. Ed. J. W. Park. Marcel Dekkers ediciones. Estados Unidos de América.
- KNIFE, L. (1993). Basic science of meat processing. In cured meat short course. Session I. April 27. Iowa State University. Iowa.
- KOLSARICI, N.; CANDOGAN, K. (2002). Quality characteristics and uses of mechanically deboned meat. *Gida*, 27(4): 277-283.
- KROPF, D.H. (1993). Colour stability. Factors affecting the colour of fresh meat. *Meat Focus*, 2: 269-275.
- KROPF, D.H. (2003). Enhancing meat color stability. Proceedings of the 56th American Science Association Reciprocal Meat Conference. June 15-18, Columbia, Missouri. 73-75.
- KROPF, D.H.; OLSON, D.G.; WEST, R.L. (1984). Objective measures of meat color. Proceedings of 37th Annual Reciprocal Meat Conference. Lubbock (Texas), American Meat Association y National Live Stock and Meat Board. p. 24-32.
- LAGUNA, J. y PIÑA, E. (1981). Bioquímica. México, La Prensa Médica Mexicana.
- LANIER, T. C. (1985). Fish protein in processed meats. Reciprocal Meat Conference Proceedings, 38: 129-132.
- LANIER, T.C. (1986). Functional properties of surimi. *Food Technology* 40(3), 107-114.
- LANIER, T.C. (2000). Surimi gelation chemistry. En Surimi and surimi sea food. Ed. J. W. Park. Marcel Dekkers ediciones. Estados Unidos de América.
- LAVELLE, C.L.; HUNT, M.C. y KROPF, D.H. (1995). Expressible juice and internal cooked colour of ground beef patties from vitamin E-supplemented. Proceedings of 41th International Congress of Meat Science and Technology. San Antonio (Texas), American Meat Science association. C 79: 396-397.
- LEE, B.J.; HENDRICKS, D.G. y CORNFORTH, D.P. (1998). Effect of sodium phytate, sodium pyrophosphate and sodium tripoliphosphate

- on physico-chemical characteristics of restructured beef. *Meat Science*, 50(3): 273-283.
- LEE, C.M. y CHUNG, K.H. (1989). Analysis of surimi gel properties by compression and test penetration. *Journal of Texture Studies*, 20, 363-377.
- LEE, C.M. (1984), Surimi: process technology, *Food Technology*, 38, 69-80.
- LEELAPONGWATTANA, K.; BENJAKUL, S.; VISESSANGUAN, W.; HOWELL, N. (2005). Physicochemical and biochemical changes during frozen storage of minced flesh of lizardfish (*Saurida micropectoralis*). *Food Chemistry*, 90(1-2): 141-150.
- LEHNINGER, L. (1994). *Bioquímica, las bases moleculares de la estructura y función celular*. Barcelona, Omega S.A.
- LI & LEE. (1999). Effect of sodium bicarbonate on the process and product quality of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) surimi. IFT Annual Meeting Chicago (USA), July 24-28.
- LI, C.T. y WICK, M. (2001). Improvement of the physicochemical properties of pale soft and exudative (PSE) pork meat products with an extract from mechanically deboned turkey meat, (MDTM): *Meat Science*, 58: 189-195.
- LIN, S. W. y CHEN, T. C. (1989). Yields, colour and composition of washed, kneaded and heated mechanically deboned poultry meat. *Journal of Food Science*, 54: 561-563.
- LINDSAY, R.C. (1985). Food additives. En *Food Chemistry*. O.R. Fenema. (Ed) 2ed. Capítulo 10. Marcel Dekker. Nueva York.
- LITTLE, A.C. (1976). Physical measurements as predictors of visual appearance. *Food Technology* 30 (10): 74-82.
- LÓPEZ-ANDRÉU, F.J.; MOLLA-LLORENTE, E.; PALACIOS-VALLEJO, P.L.; ESTEBAN-ÁLVAREZ, R.M. (1994). Estudio de la degradación de la clorofila durante la conservación y manipulación de guisantes y espinacas. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 13: 101-105.

- LUCAS, T.; MARIETTE, F.; DOMINIAWSYK, S.; LE RAY, D. (2004). Water, ice and sucrose behaviour in frozen sucrose-protein solutions as studied by <sup>1</sup>H NMR. *Food Chemistry*, 84: 77-89.
- LYON, C. E.; LYON, B. G.; DAVIS, C. E.; TOWNSEND, W. E.; WILSON, R. L. (1978). Effect of level of structured protein fiber on quality of mechanically deboned chicken meat patties. *Journal of Food Science*, 43: 1524-1527.
- MACNEIL, J. H.; MAST, M. G.; LEACH, R. M. (1978). Protein efficiency ratio and levels of selected nutrients in mechanically deboned poultry meat. *Journal of Food Science*, 43: 864-869.
- MANCINI, R.A.; HUNT, M.C.; HACHMEISTER, K.A., KROPF, D.H.; JOHNSON, D.E. (2005). Exclusion of oxygen from modified atmosphere packages limits beef rib and lumbar vertebrae marrow discoloration during display and storage. *Meat Science*, 69: 493-500.
- MAPA (2003). Anuario de Estadística Agroalimentaria 2001. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- MARQUES, E.M. (1996) Influencia del pimentón en el proceso de elaboración de los productos cárnicos crudo-curados. Trabajo Fin de Carrera. Valencia, E.U.I.T.A. Universidad Politécnica de Valencia
- MARTIN, R.E. (1986), Developing appropriate nomenclature for structured seafood products, *Food Technology*, 40, 127-134.
- MATLOCK, R.; TERREL, R.; SAVELL, J.; RHEE, K. Y DUTSON, T. (1984) Factors affecting properties of precooked-frozen pork sausage patties made with various NaCl/Phosphate combinations. *Journal of Food Science*, 49: 1372-1375.
- MCCORMICK, R.J. y PHILIPS, A.L., (1999). Muscle extracellular matrix: role in growth, development and meat tenderness. En *Quality attributes of muscle foods*. Xiong, Y.L., Ho, C.T. y Shahidi, F. (Eds) Klumer Academic. New York.

- McCORMICK, R.J.; BUGREN, S.; FIELD, R.A.; RULE, D.C. Y BUSBOOM, J.R. (1993). Surimi like product from mutton. *Journal of Food Science*, 58 (3): 497-500.
- MCIVOR, D.; BACCUS-TAYLOR, G.S.H.; COMISSIONG, E. (2002). Manufacture of spent hen ayami and its utilisation in meatloaf and fresh sausage. *British Poultry Science*, 43(2): 218-222.
- MCKEE, L.H.; RAY, E.E.; REMMENGA, M. (2001). Evaluation of the physical and sensory properties of chile-flavored, puffed, extruded products made from meat and potato flour. *Journal of Muscle Foods*, 12(2): 153-166.
- McLAREN, K. (1984). Food colorimetry. En: *Developments in food colours*. Walford, J. (Ed). London. Elsevier Applied Science. Vol I
- MEDYNSKI, A.; POSPIECH, E.; KNIAT, R. (2000). Effect of various concentrations of lactic acid and sodium chloride on selected physico-chemical meat traits. *Meat Science*, 55: 285-290.
- MELLA, R.M.; GARCIA, M.; HERRERA, H. NÚÑEZ DE VILLAVICENCIO, M.; CASALS, C. Y FRÓMETA, Z. (2000). Influencia de los ingredientes de la formulación sobre las características de un producto cárnico de pasta fina. *Alimentaria*, 314: 101-103.
- MIELNIK, M.B.; AABY, K.; ROLFSEN, K.; ELLERKJAER, M.R. Y NILSSON, A. (2002). Quality of comminuted sausages formulated from mechanically deboned poultry meat. *Meat Science*, 61: 73-84.
- MILLAR, S.J.; MOSS, B.W.; STEVENSON, M.H. (1996). Some observations on the absorption spectra of various myoglobin derivatives found in meat. *Meat Science*, 42(3): 277-288.
- MILLAR, S. J.; MOSS, B.W. Y STEVENSON, M.H. (2000). The effect of ionising radiation on colour of leg and breast of poultry meat. *Meat Science*, 55: 361-370.
- MONTERO, P. (1994). Use of hydrocolloids and non-muscle proteins for minced fish gelation In *Proceedings of Surimi and Minced Fish Products from Underutilised and Pelagic Fish*. Athens, Greece, 1-4 November.

- MONTES, L.A. (1966). Bromatología. Tomo I. Buenos Aires, Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- MULA, I. (1999). La crisis de precios vuelve a azotar al sector de carne y huevos. *Super Aral Lineal*, 1405: 54-58.
- NAVARRO, C.; VILELLA, J. (2002). Productos gelificados de pescado: industrialización. En *Industrialización de productos de origen animal*. E. Sayas-Barberá, J.A. Pérez Álvarez, J. Fernández-López. (Eds) Departamento de Tecnología Agroalimentaria. Universidad Miguel Hernández. 2ª edición. Elche (Alicante).
- NIWA, E., UENO, S. y KANO, S. (1992). Mechanism for gelation of unheated *surimi* by vinegar curing. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 56 (1): 58-61.
- NOWSAD, A.K.M.A., KANOK, S.; NIWA, E. (2000a) Thermal gelation characteristics of breast and thigh muscles of spent hen and broiler and their *surimi*. *Meat Science* 54:169-175.
- NOWSAD, A.K.M.A., KANOK, S.; NIWA, E. (2000b) Thermal gelation properties of spent hen mince and *surimi*. *Poultry Science* 79(1): 117-125.
- OFFER, G.; KNIGHT, P. (1988). The structural basis of water-holding in meat. Part 1: general principles and water uptake in meat processing. *Developments in Meat Science*, 4: 63-172.
- OFFER, G. Y TRINICK, J. (1983). On the mechanism of water holding in meat: the swelling and shrinking of myofibrils. *Meat Science*, 8: 245-281.
- ONYANGO, C. A.; IZUMINETO, M.; KUTIMA, P. M. (1998). Comparison of some physical and chemical properties of selected game meats. *Meat Science*, 49(1): 117-125.
- ORBAN, J.I.; ROLAND, D.A.; BRYANT, M.M.; WILLIAMS, J.C. (1993). Factors influencing bone mineral content, density, breaking strength, and ash as response criteria for assessing bone quality in chickens. *Poultry Science*, 72(3): 437-446.

- ORDÓÑEZ, M.; ROVIRA, J.; JAIME, I. (1996). Estudio de la textura de salchichas cocidas. *Alimentaria*, 273: 25-29.
- OSBORN, H.M.; BROWN, H.; ADAMS, J.B.; LEDWARD, D. (2003). High temperature reduction of metmyoglobin in aqueous muscle extracts. *Meat Science*, 65(1): 631-637.
- PADDA, G. S. (1983). Mechanically deboning, a way to full utilization of poultry meat. *Poultry Guide*, 20: 92-94.
- PAGÁN, M.J.; PÉREZ-ALVAREZ, J.A.; SAYAS, M.E. y ARANDA, V. (1992) Aportaciones al proceso de elaboración del chorizo: evaluación del color y parámetros fisicoquímicos. En Fito, P.; Serra, J.; Hernández, E. y Vidal, D. (Eds) *Anales de investigación del Master en Ciencia e Ingeniería de Alimentos*. Valencia, Reproval. Vol. I, p. 553-574.
- PALOMBO, R. Y. WIJNGAARDS, G. (1990). Characterization of charges in psychometric colour attributes of comminuted porcine lean meat during processing. *Meat Science*. 28(1): 61-76.
- PARK, J.W. (1994). Functional protein additives in surimi gels. *Journal of Food Science*, 59(3): 425-527.
- PARK, J.W. (2000). Ingredient technology. En *Surimi and surimi seafood*. Ed. J. W. Park. Marcel Dekkers ediciones. Estados Unidos de América.
- PARK, J.W.; LANIER, T.C. y GREEN, D.P. (1988). Cryoprotective effects of sugars, polyols and/or phosphates on Alaska Pollack surimi. *Journal of Food Science*, 53: 1-3.
- PARK, S.; BREWER, M. S.; MCKEITH, F.K.; BECHTEL, P.J. Y NOVAKOFSKI, J. (1996a). Composition of surimi like material from beef or pork. *Journal of Food Science*, 61(4): 717-720.
- PARK, S.; BREWER, M.S.; MCKEITH, F.K.; BECHTEL, P.J. y NOVAKOFSKI, J. (1996b). Salt, cryoprotectants and preheating temperature effects on surimi-like material from beef and pork. *Journal of Food Science*, 61(4): 790-795.

- PARK, J. W.; MORRISEY, M. T. (1994). The need for developing the surimi standard. In *Quality Control and Quality assurance seafood*. G. Sylvia, A. Shiver, M. T. Morrisey (Eds) De Oregon Sea Grant. Corvallis. OR.
- PARKINGTON, J.K.; XIONG, Y.L.; BLANCHARD, S.P. Y XIONG, S. (2000). Functionality changes in oxidative/antioxidative washed beef-heart surimi during frozen storage. *Journal of Food Science*, 65 (5): 796-800.
- PEARSON, A.M. y TAUBER, F.W. (1984). *Processed meats*. 2ed. Westport (Connecticut), AVI Publishing company, Inc.
- PÉREZ-ÁLVAREZ, J. A. (1996). Contribución al estudio objetivo del color en productos cárnicos crudo-curados. Tesis Doctoral. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia.
- PÉREZ-ÁLVAREZ, J. A. (2000). El color de la carne. En: *Nuevas tendencias en la tecnología e higiene de la industria cárnica*. M.R. Rosmini; J. Fernández-López; J.A. Pérez-Álvarez (Eds), UMH, Elche.
- PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. (2001). Aspectos físicos, fisiológicos, psicológicos, químicos e instrumentales para la determinación del color en alimentos. Universidad Miguel Hernández Elche-Alicante.
- PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. Y ROSMINI, M.R. (2004). Chemical and physical aspects of color in frozen muscle-based foods. En: *Handbook of frozen foods*. Y.H. Hui; P. Cornillon; I. Guerrero-Legaretta; M.H. Lim; K.D. Murrel y W.K. Nip. (Eds) Marcel Dekkers ediciones. Estados Unidos de América
- PÉREZ-ÁLVAREZ, J. A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; SAYAS-BARBERÁ, M.E. Y CARTAGENA-GRACIÁ, R. (1998). Caracterización de los parámetros de color de diferentes materias primas usadas en la industria cárnica, *Eurocarne*, 63: 115-122.

- PEREZ-DUBÉ, D.; VENEGAS-FORNIAS, O. y CASAL-FUENTES, C. (2000). Propiedades funcionales de la carne de ave recuperada mecánicamente. *La industria cárnica latinoamericana*, 118: 46-48.
- PÉREZ-LOZANO, M<sup>a</sup>. I. (1998). Influencia de diversos aditivos (cloruro de sodio, ácido láctico y pimentón) sobre la capacidad de retención de agua y el color del magro en sistemas modelo de pastas de embutidos crudo-curados. Trabajo Fin de Carrera. E. P. S. de Orihuela. Universidad Miguel Hernández.
- PÉREZ-MATEOS, M. y MONTERO, P. (2000). Contribution of hydrocolloids to gelling properties of blue whiting muscle. *European Food Research Technology*, 210: 383-390.
- PERLO, F. (1997). Caracterización física y físico-química de pastas finas: paté. Tesis Doctoral. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia.
- PICALLO, A. B.; MARTINEZ, H.; MARGONA, C.A. (2000). Colour measurements and tenderness relationships in retail beef cuts. *Proceedings of the 46th International Congress of Meat Science and Technology*. Buenos Aires, Argentina: 512-513.
- PINEL, M. (1982). Aprovechamiento de ingredientes proteínicos de origen animal: problemas generales que presenta el aprovechamiento de esas proteínas. En C.M. Bourgeois y P. Le Ruox (Eds). *Proteínas animales*. México, El manual moderno.
- PIZZOCARO, F.; SENESI, E.; VERONESE, P.; GASPAROLI, A. (1998). Mechanically deboned poultry meat hamburgers. II. Protective and antioxidant effect of the carrot and spinach tissues during frozen storage. *Industrie-Alimentari*, 37(371): 710-720.
- PRABHU, G. y SEBRANEK, J. G. (1996). Cryoprotectant effects of corn maltodextrins and corn syrup solids in mechanically deboned pork. United States of America, Institute of Food Technologists. Annual Meeting, libro de resúmenes, 62 ISSN 1082-1236.
- PRÄNDL, O. (1994). Fundamentos de la conservación de la carne. En Prandl O., Fischer A., Schmidhofer T. y Sinell, H.J. (Eds). *Tecnolo-*

- gía e Higiene de la carne. Zaragoza, Acribia. Parte B, II, p. 236-3851.
- QIAO, M.; FLETCHER, D.L.; NORTH CUTT, J.K.; SMITH, D.P. (2002). The relationship between raw broiler breast meat color and composition. *Poultry Science*, 81(3): 422-427.
- RAMÍREZ-SUÁREZ, J.C.; PACHECO-AGUILAR, R.; MAZORRA-MANZANO, M.A. (2000). Washing effects on gelling properties and color of Monterey sardine (*Sardinops sagax caerulea*) minced flesh. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 9(2): 55-67.
- REGLAMENTO (CE) N° 853/2004 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 29 de abril de 2004, por el que se establecen normas específicas de higiene de los alimentos de origen animal 30.4.2004 Diario Oficial de la Unión Europea.
- REPPOND, K. D. y BABBITT, J. K. (1997). Gel properties of surimi from various fish species as affected by moisture content. *Journal of Food Science*. 62(4): 707-714.
- REYNOLDS, J.; PARK, J.W.; CHOI, Y.J. (2002). Physicochemical properties of pacific whiting surimi as affected by various freezing and storage conditions. *Journal of Food Science*, 67(6): 2072-2078.
- RIVERA, J.A., SEBRANEK, J.G. y RUST, R.E. (2000b). Functional properties of meat by-products and mechanically separated chicken (MSC) in high-moisture model petfood system. *Meat Science*, 55: 61-66.
- RIVERA, J.A., SEBRANEK, J.G., RUST, R.E. y TABATABAI, L.B. (2000a). Composition and protein fractions of different meat by-products and mechanically separated chicken (MSC). *Meat Science*, 55: 53-59.
- RODRÍGUEZ-LÓPEZ, A.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; SAYAS-BARBERÁ, M.E.; PAGÁN-MORENO, M.J.; GAGO-GAGO, A. y ARANDA-CATALÁ, V. (1992). Color and color stability of dry-cured ham. Proceedings of the 38th International Congress of Meat Science and Technology. Clermont Ferrand. France. Vol. III, 583-586.

- ROSMINI, M. R. (1997). Proceso de elaboración de los productos cárnicos fermentados: caracterización objetiva mediante parámetros de color. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- ROSMINI, M.R.; ZOGBI, A.P. FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; SAYAS-BARBERÁ, M.E. FERNÁNDEZ-GINÉS, J.M. LÓPEZ-SANTOVEÑA, F.; ARANDA-CATALÁ; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A. (2005). Effect of water, sodium chloride, lactic acid, sodium nitrite, sodium ascorbate and paprika upon lightness ( $L^*$ ) in a dry-cured sausage model system. *Journal of Food Technology* (En prensa).
- SADAT, T. y VOLLE, C. (2000). Integration of linear accelerator into a production line of mechanically deboned separated poultry meat. *Radiation Physics and Chemistry*, 57: 613-617.
- SALAM-BABJI, A.; GNA-SONG-KEE. (1994). Changes in colour, pH, WHC, protein extraction and gel strength during processing of chicken surimi (ayami). *Asian Food Journal*, 9(2): 63-68.
- SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, M. E. (1999). Características químicas, físico-químicas, sensoriales y de color del jamón ibérico de bellota D. O. Guijuelo. Tesis Doctoral. Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bormatología. Universidad de Salamanca.
- SANGTHERAPITIKUL, O.; CHEN, Y.C.; T.C. CHEN, T.C. (2005). Utilization of spent hens as a flavoring base: 2. flavoring products from spent hen meat hydrolysate. *Journal of Food Technology*, 3(1): 41-45.
- SATTERLEE, L.D.; FRONNING, G.W. y JANKY, D.M. (1971). Influence of skin content on composition of mechanically deboned poultry meat. *Journal of Food Science*, 36: 979-981.
- SAYAS, M. E. (1997). Contribuciones al proceso tecnológico de elaboración del jamón curado: aspectos físicos, físico-químicos y ultraestructurales en los procesos de curado tradicional y rápido. Tesis Doctoral. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia.

- SCHIEBER, A.; STINTZING, F.C. y CARLE, R. (2001). By-products of plant food processing as a source of functional compounds recent developments. *Trends in Food Science & Technology*, 12: 401-413.
- SCHNELL, P.G.; NATH, K.R.; DARFLER, J.M.; VADEHRA, D.V. y BAKER, R.C. (1973). Physical and functional properties of mechanically deboned poultry meat as used in the manufacture of frankfurters. *Poultry Science*, 52: 1363-1369.
- SCMIDHOFER, T. (1994). Métodos analíticos. En Prändl O., Fisher a.; Scmidhofer, T. y Sinell H.J. (Eds) *Tecnología e higiene de la carne*. Zaragoza, Acribia, pp. 723-803.
- SETSER, C.S. (1984). Color: reflections and transmissions. *Journal of Food Quality*, 6: 183-186.
- SEVERINI, M.; LOSCHI, A.R.; TREVISANI, M.; AGLIETTI, I. Y BERTOROTTA, V. (1994). Muscle fibre type and meat traits of corn-silage-fed bufaloes of different ages. *Proceedings of 40th International congress of meat science and technology*. The Hague (the Netherlands), S-IVA, 37.
- SMITH, D.P.; LYON, C.E.; LYON, B.G. (2002). The effect of age, dietary carbohydrate source, and feed withdrawal on broiler breast fillet color. *Poultry Science*, 81(10): 1584-1588.
- SMYTH, A.B. y O'NEIL, E. (1997). Heat-induced gelation properties of surimi from mechanically separated chicken. *Journal of Food Science* 62(2), 326-330.
- SNYDER, H.E. (1965). Analysis of pigments at the surface of fresh beef with reflectance spectrophotometry. *Journal of Food Science*, 30: 457.
- SRINIVASAN, S. Y XIONG, Y.L. (1996). Gelation of beef heart surimi as affected by antioxidants. *Journal of Food Science*, 61(4): 707-711.

- SUSHIL-KUMAR; WISMER-PEDERSEN, J. (1983). Quality of luncheon meat with mechanically deboned poultry meat as sole ingredient. *Indian Journal of Poultry Science*, 18: 85-90.
- SUZUKI, T. (1986). *Tecnología de las proteínas de pescado y Krill*. Acribia. Zaragoza.
- SWATLAND, H.J. (1995). Reversible pH effects on pork paleness in a model system. *Journal of Food Science*, 60(5): 988-991.
- SWATLAND, H.J. (2002). *Evaluación de la carne en la cadena de producción*. Acribia. Zaragoza.
- SYCH, J.; LACROIX, C.; ADAMBOUNOU, L. T. y CASTAIGNE, F. (1990). Cryoprotective effects of some materials on cod-surimi proteins during frozen storage. *Journal of Food Science*, 55(5): 1222-1227, 1263.
- TAJAHUERCE, S.; PAGÁN, M.J.; PÉREZ-ALVAREZ, J.A.; GAGO, M.A.; PASCUAL, C.S.; LÓPEZ, F. y ARANDA, V. (1994) Effects of tocopherol added to paprika upon color during processing. *Proceedings of 40th International Congress of Meat Science and Technology*. The Hague, The Netherlands. S-VI.22.
- TOMANIAC, A.; TYSKIEWICZ, I. y KOMOSA, J. (1998). Cryoprotectants for frozen red meats. *Meat Science*, 50 (3): 365-371.
- TORNBERG, E.; ANDERSON, A.; VON SETH, G. (1993). Water distribution of raw pork muscle (*Longissimus dorsi*) of different meat qualities. *Proc. 39th International Congress of Meat Science and Technology*. S4P23.wpp, Calgary. Canada.
- TRINDADE, M.A.; RODRIGUES, S.; NUNES, T.P.; CIPOLLI, K.M.V.A.B.; CONTRERAS, C.J.C. (2000). Quality loss in mechanically deboned poultry meat at different storage temperatures. *Proceedings of the 46th International Congress of Meat Science and Technology*. Buenos Aires, Argentina: 412-413.
- TROPLIN, P.; LÓPEZ, M. Y LEROY, E. (1995). Defining chocolate color. *The World of Ingredients*, 1: 34-37.

- UIJTENBOOGAART, T.G.; TRZISZKA, T.L.; SCHREURS, F.J.G. (1993). Cryoprotectant effects during short time frozen storage of chicken myofibrillar protein isolates. *Journal of food Science*, 58(2): 274-277.
- UNE 72-031. (1983). Magnitudes colorimétricas. Norma Española. Instituto Español de Normalización (IRANOR). Madrid.
- URESTI, R.M.; RAMÍREZ, J.A.; LÓPEZ-ARIAS, N.; VÁZQUEZ, M. (2003). Negative effect of combining microbial transglutaminase with low methoxyl pectins on the mechanical properties and colour attributes of fish gels. *Food Chemistry*, 80(4): 551-556.
- URESTI, R.M.; TÉLEZ-LUIS, S.; RAMÍREZ, J.A. y VÁZQUEZ, M. (2004). Use of dairy proteins and microbial transglutaminase to obtain low-salt fish products from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) filleting waste. *Food Chemistry*, 86: 257-262.
- USDA. (1986). Composition of foods: beef products, raw, processed, prepared. Agriculture Handbook. Human nutrition information service, United States Department of Agriculture, pp. 8-13.
- VARNAM, A. H.; SUTHERLAND, J. P. (1998). Carne y productos cárnicos: tecnología, química y microbiología. Acribia. Zaragoza.
- WANG, B. y XIONG, Y. L. (1999). Textural and sensory properties of reduced-fat frankfurters containing antioxidant-washed beef heart surimi. *Journal of Muscle Foods*, 10(3): 205-214.
- WARRIS, P.D. (1995). Métodos para evaluar la calidad de la carne de cerdo. *Carne Tec.*, 2:18-24.
- WEN LEE CHEN; CHAU JEN CHOW; OCHIAI, Y. (1996). Effects of washing media and storage condition on the color of milkfish meat paste. *Fisheries Science*, 62(6): 938-944.
- WHITAKER, J.R. (1972). Principles of enzymology for the food sciences. New York, Marcel Decker.
- WIMMER, M.P.; SEBRANEK, J.G. Y McKEITH, F.K. (1993). Washed mechanically separated pork as surimi like meat product ingredient. *Journal of Food Science*, 58 (2): 254-258.

- WISMER-PEDERSEN, J. (1994). Química de los tejidos animales. Parte 5-Agua. En Price, J.F. Y Schweigert, B.S. (Eds), Ciencia de la carne y de los productos cárnicos. Acribia. Zaragoza.
- XIONG, Y.L.; HO, C.T. y SHAHIDI, F. (1999). Quality characteristics of muscle foods. En Quality attributes of muscle foods. Xiong, Y.L., Ho, C.T. y Shahidi, F. (Eds), Klumer Academic. New York.
- YANG, T.S. y FRONING, G.W. (1992). Selected washing processes affect thermal gelation properties and microstructure of mechanically deboned chicken meat. *Journal of Food Science*, 57(2), 325-329.
- YOON, K. S. y LEE, C. M. (1990). Cryoprotectant effects in surimi and surimi/mince based extruded products. *Journal of Food Science*, 55(5): 1210-1216.
- YOULING, L.X. y BLANCHARD, S.P. (1993). Functional properties of myofibrillar proteins from cold-shortened and thaw-rigor bovine muscles. *Journal of Food Science*, 58(4): 720-723.
- ZHENG, LU; SEBRANEK, J.G.; DICKSON, J.S.; MENDONCA, A.F.; BAILEY, T.B. (2005). Effects of organic acid salt solutions on sensory and other quality characteristics of frankfurters. *Journal of Food Science*, 70(2): 123-127.
- ZHOU, A.; BENJAKUL, S.; JIE, K.P. (2005). Cryoprotective effects of trehalose and sodium lactate on tilapia (*Sarotherodon nilotica*) surimi during frozen storage. *Food Chemistry*, disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/journals>